



Informatisation et organisation des activités administratives - essais d'approches théoriques et empiriques

Michel Lahittete

► To cite this version:

Michel Lahittete. Informatisation et organisation des activités administratives - essais d'approches théoriques et empiriques. Economies et finances. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2006. Français. NNT: . tel-00136528

HAL Id: tel-00136528

<https://theses.hal.science/tel-00136528>

Submitted on 14 Mar 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE PARIS I – PANTHEON - SORBONNE
Sciences Économiques

Année 2006

N°2006PAO10077

THESE
pour le Doctorat en Sciences Économiques (arrêté du 30 Mars 1992)
présentée et soutenue publiquement par
Michel LAHITTETE

INFORMATISATION ET ORGANISATION DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES

- ESSAIS D'APPROCHES THEORIQUES ET EMPIRIQUES -

Directeur de recherche : Monsieur Roland Lantner

Jury :

Monsieur Gilbert Cette, Directeur des Analyses macro-économiques de la Banque de France
Monsieur Jérôme Gautié, Professeur à l'Université de Paris I
Monsieur Abdelillah Hamdouch (Rapporteur), Maître de Conférences à l'Université de Lille I
Monsieur Roland Lantner, Professeur à l'Université de Paris I
Monsieur Alain Rallet (Rapporteur), Professeur à l'Université de Paris XI

L'Université de Paris I – Panthéon - Sorbonne n'entend donner aucune approbation, ni improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier les responsables de l'Université de Paris 1 et de l'Université de Rennes 2 qui m'ont permis de bénéficier successivement d'un poste d'allocataire de recherches et d'un poste d'ATER.

Je voudrais ensuite remercier Roland Lantner pour la confiance qu'il a bien voulu m'accorder en acceptant de prendre en charge la direction de cette thèse. Tout en me donnant une grande liberté dans mon activité de recherche, il a su me prodiguer de précieux conseils et m'a toujours soutenu lors des moments critiques.

Je remercie également Abdelillah Hamdouch de m'avoir encouragé à approfondir mes recherches dans le domaine de l'analyse économique des activités administratives en général et dans celui du modèle de Radner en particulier.

Je souhaite remercier Nathalie Greenan qui a donné une orientation décisive à cette thèse en me suggérant d'utiliser les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » relative aux activités comptables. Par la même occasion, je remercie Jean-Luc Outin, directeur du laboratoire MATISSE, pour son appui lors des nombreuses démarches que j'ai dû effectuer pour accéder aux données.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monique Le Guen pour ses conseils avisés quant au maniement du logiciel SAS et pour sa grande disponibilité pour répondre à mes multiples questions. De même, je remercie Véronique Simonnet qui m'a apporté une aide précieuse pour la partie économétrique de cette thèse et m'a fait bénéficier de sa grande connaissance du logiciel Stata.

J'ai eu l'occasion de présenter certains aspects de mes recherches lors des doctoriales organisées par le GDR TICS. Je remercie Eric Brousseau, Thierry Penard et Alain Rallet pour leurs remarques qui ont grandement contribué à faire progresser ce travail.

Enfin, je remercie Didier Lebert, Fabrice Lequeux, Jean-Paul Maréchal et Dominique Perrochon d'avoir bien voulu relire diverses parties de cette thèse.

SOMMAIRE

PREMIERE PARTIE : L'ANALYSE ECONOMIQUE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	19
CHAPITRE 1 : LA VARIETE DES CARACTERISTIQUES DE L'ORGANISATION OPTIMALE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	20
CHAPITRE 2 : L'EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DE L'ORGANISATION OPTIMALE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	51
DEUXIEME PARTIE : L'ANALYSE ECONOMIQUE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES : NOUVEAUX ASPECTS..	85
CHAPITRE 3 : ORGANISATION, ENVIRONNEMENT ET EFFICIENCE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	86
CHAPITRE 4 : INFORMATISATION, ORGANISATION, ENVIRONNEMENT ET EFFICIENCE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	119
TROISIEME PARTIE : INFORMATISATION ET TAILLE DES ENTREPRISES : ASPECTS EMPIRIQUES..	163
CHAPITRE 5 : UNE RECENSION DES ETUDES EMPIRIQUES ASSOCIANT INFORMATISATION, FRONTIERES ET TAILLE DES FIRMES...	164
CHAPITRE 6 : INFORMATISATION, ENVIRONNEMENT ET EVOLUTION DE LA TAILLE DES ENTREPRISES COMPTABLES	193

INTRODUCTION GENERALE

Les relations entre informatisation, organisation et performances ont fait l'objet de nombreuses recherches d'un point de vue théorique ou empirique. L'organisation est souvent considérée comme un facteur essentiel pour expliquer l'amélioration des performances consécutive à l'informatisation. D'un point de vue empirique, Brynjolfsson et Hitt (1995, 2000) estiment que les facteurs intangibles associés à l'organisation des entreprises expliquent pour moitié l'effet des technologies de l'information (TI) sur la productivité. D'un point de vue théorique, Simon (1973) observe que le succès ou l'échec des TI dépend fortement de la manière dont est conçu le système de prise de décision dans les entreprises. Enfin, Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999) adoptent une optique de co-évolution de l'informatisation et de l'organisation pour donner un cadre analytique au paradoxe de la productivité¹.

Une analyse bien différente des relations entre informatisation, organisation et performances est offerte par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. L'informatisation y est assimilée à une augmentation de la capacité de traitement des agents et a pour conséquence l'évolution de l'organisation optimale des activités administratives. La théorie des équipes initiée par Marschak (1955), puis Marschak et Radner (1972) considère qu'un groupe d'agents à rationalité limitée mais adhérant à un objectif commun traite de l'information afin de prendre des décisions. L'organisation optimale minimisant les coûts de traitement de l'information présente des caractéristiques diverses. Williamson (1967), puis Meagher (2003) ont montré l'existence d'un nombre optimal de niveaux hiérarchiques, alors que Keren et Levhari (1979) ont mis en évidence l'existence d'un nombre optimal de subordonnés.

L'objet de la thèse est double. D'une part, il s'agit d'étudier d'un point de vue théorique les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives. La thèse envisage de nouveaux aspects dans l'analyse économique des activités administratives qui n'ont pas été pris en compte par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. D'autre part, il s'agit de tester empiriquement les prédictions issues de la partie théorique quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises.

¹ Le paradoxe de la productivité est souvent associé à la citation suivante de Solow (1987) : « Je vois des ordinateurs partout, sauf dans les statistiques de productivité ». La modeste contribution des TI à la croissance économique a été soulignée par Oliner et Sichel (1994, 2000), Stiroh (1998) et Gordon (2000) aux Etats-Unis et par Cette, Kocoglu et Mairesse (2000, 2002, 2003) en France. L'absence de lien positif entre TI et productivité des entreprises a été soulevée dans des études utilisant des données sectorielles (Roach 1987, 1989a, 1989b, 1991, Loveman 1994, Berndt et Morrison 1995). D'autres études empiriques ont trouvé un lien positif entre TI et productivité des entreprises (Brynjolfsson et Hitt 1995, 1996, Lichtenberg 1995, Greenan et Mairesse 2000).

- Des aspects nouveaux dans les relations entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives

Notre approche des liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience s'appuie sur un cadre théorique proche de celui des modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Dans ces modèles, l'informatisation et l'environnement des entreprises sont assimilés à des facteurs de contingence faisant évoluer les caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives. Ces activités administratives peuvent avoir pour rôle de coordonner les activités de production ou bien peuvent être considérées indépendamment de ces activités de production.

Dans le premier cas, Aoki (1986, 1990) considère les conséquences de la variance et de la volatilité des chocs affectant les ateliers sur le choix entre une structure d'information verticale et une structure d'information horizontale. Cet auteur utilise un raisonnement semblable pour étudier l'effet d'un autre facteur de contingence : l'amélioration de la capacité de traitement. Geanakoplos et Milgrom (1991) s'intéressent aux conséquences de ces facteurs de contingence sur le nombre de managers utilisés pour transmettre aux ateliers les objectifs de production issus du sommet hiérarchique. D'après Garicano (2000), les TI réduisent les coûts de communication ou les coûts d'acquisition des connaissances, ce qui fait évoluer les domaines de compétences optimaux des « opérationnels » et des « solutionnistes ».

Quand les activités administratives sont considérées indépendamment des activités de production, elles prennent des formes diverses. Bolton et Dewatripont (1994) étudient le traitement de cohortes de données se succédant dans le temps par un réseau stationnaire. Selon eux, l'informatisation réduit les coûts de communication et fait diminuer la taille optimale des activités administratives. Cukrowski et Baniak (1999) décrivent le traitement d'une cohorte de données et conditionnent la diminution de la taille à un changement technique fort. Kennedy (1994) distingue une structure parallèle où des « solutionnistes » homogènes résolvent chacun un problème de décision d'une structure en série où un problème est résolu par des agents hétérogènes. Les logiciels spécialisés évincent les spécialistes, ce qui implique un amaigrissement et un aplatissement des structures administratives.

Ces modèles ont pour inconvénient d'offrir des prédictions contradictoires quant aux conséquences de l'informatisation et de l'environnement sur l'organisation optimale des activités administratives. Par exemple, l'informatisation fait diminuer la taille optimale des activités administratives suivant Bolton et Dewatripont (1994), alors que Orbay (2002) affirme qu'elle fait augmenter cette taille. De plus, ces modèles n'offrent pas de prédictions claires quant aux conséquences des facteurs de contingence sur la taille des entreprises.

Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) estiment que l'informatisation fait augmenter la taille optimale des activités de production alors qu'elle fait diminuer la taille optimale des activités administratives. Ces modèles ont aussi pour inconvénient de ne considérer qu'une partie des liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience.

- Premièrement, ces modèles ne tiennent pas compte du rôle de l'organisation dans la diffusion des TI pourtant envisagé par les analyses de la co-évolution de l'informatisation et de l'organisation. Rallet (1995), puis Brousseau et Rallet (1997, 1998) assimilent l'organisation à une architecture répondant aux besoins de coordination verticale et horizontale des unités. Quand les décisions sont décentralisées et les unités spécialisées, l'informatique est utilisée pour augmenter la productivité et les outils de télécommunication le sont pour procéder aux ajustements mutuels. La télématique se diffuse quand les décisions sont centralisées et les unités spécialisées. Quand les décisions sont décentralisées et les unités polyvalentes, les TI sont peu utilisées car les besoins de coordination sont faibles.

Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999) prolongent cette analyse en montrant que la contribution des TI à l'efficience est faible dans les organisations où la coordination est informelle (bâtiment). Cette contribution est forte quand les besoins de coordination sont importants (organisations centralisées et spécialisées). Ces auteurs se proposent de donner un cadre analytique au paradoxe de la productivité en étudiant les conséquences de l'informatisation des tâches (informatique), du savoir (bases de données) et des relations (télématique) sur les performances. Selon eux, l'informatisation des relations peut contribuer à diversifier les objectifs et à transformer les mesures de la performance².

- Deuxièmement, ces modèles supposent que le changement organisationnel découle automatiquement de l'augmentation de la capacité de traitement des agents ou de l'évolution de l'environnement. Seul le modèle de Cukrowski et Baniak (1999) mentionne la possibilité d'une augmentation de la capacité de traitement des agents insuffisante pour faire diminuer la taille optimale des activités administratives. Plusieurs questions restent en suspens : quels sont les effets des TI sur l'efficience en l'absence de changement organisationnel ? Quel est le seuil d'informatisation à franchir pour que survienne le

² Plusieurs raisons ont été avancées pour expliquer le paradoxe de la productivité. Greenan (1999) évoque l'existence de coûts cachés associés à la mise en œuvre des TI. Amendola et Gaffard (1988a, 1988b, 1998), puis Gaffard (1997) affirment que les TI sont utilisées efficacement par les entreprises quand elles sont confrontées à une croissance régulière de la demande. Brynjolfsson (1993) mentionne le temps nécessaire à l'apparition des gains issus de l'informatisation et l'existence de divers défauts dans le management, ainsi que les erreurs de mesures des inputs et des outputs. Le cadre analytique de Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999) souligne le rôle de l'organisation dans la diffusion des TI et les difficultés rencontrées pour mesurer les performances.

changement organisationnel ? Le changement organisationnel issu de l'informatisation se manifeste-t-il autrement que par une évolution du nombre des agents ?

- Troisièmement, ces modèles ne traitent pas directement des liens entre l'environnement et l'efficacité ni des liens entre l'environnement et l'informatisation. D'une part, ils ne montrent pas que l'environnement peut affecter l'efficacité sans forcément modifier les caractéristiques de l'organisation optimale. D'autre part, bien qu'ils envisagent les effets opposés de l'environnement et de l'informatisation sur l'efficacité, ils n'évoquent pas la possibilité de s'adapter à l'évolution de l'environnement par l'utilisation des TI dans une organisation inchangée.

L'objet de cette thèse est de considérer ces nouveaux aspects des relations entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives. La thèse offre également de nouvelles prédictions quant aux relations entre informatisation, environnement et taille des activités administratives susceptibles d'être vérifiées empiriquement. Pour ce faire, nous faisons appel au modèle de Radner (1993) d'une manière originale au regard de l'utilisation qui en est faite par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Ceci nous conduit à retenir une nouvelle définition de l'efficacité des activités administratives.

- Un cadre d'analyse proche de celui de la théorie des équipes, retenant une nouvelle définition de l'efficacité dans le modèle de Radner (1993)

Notre cadre d'analyse se distingue de celui de nombreux modèles s'inspirant de la théorie des équipes car il ignore les activités de production pour se focaliser sur les activités administratives. Radner (1992) distingue neuf activités différentes qui constituent selon lui une liste partielle de l'activité des agents administratifs. Ces agents ont pour rôle d'observer l'environnement et le résultat des actions passées, de traiter et de communiquer de l'information, de prendre les décisions, de contrôler l'action des autres membres, de recruter et de licencier, de former, de planifier, de résoudre des problèmes, d'instaurer les objectifs et les valeurs et de persuader les agents d'y adhérer.

Nous nous proposons de considérer le modèle de Radner (1993) d'une manière originale au regard de l'utilisation qui en est faite par Cukrowski et Baniak (1999), par Orbay (2002) ou par Meagher, Orbay et Van Zandt (2004). Le modèle de Radner (1993) représente l'agrégation d'un certain nombre de données initiales par un groupe d'agents à capacité de traitement limitée afin de prendre des décisions. Par hypothèse, chaque agent est capable de

lire une donnée en une période. Supposons que six agents soient disponibles pour traiter 12 données et que ces agents consacrent deux périodes pour traiter chacun deux données. Quand cinq agents transmettent leurs résultats au sixième, ce dernier achève son traitement à l'issue de la septième période et prend une décision.

Radner (1993) considère une hiérarchie régulière et équilibrée où chaque agent possède deux subordonnés dans le niveau hiérarchique immédiatement inférieur. Il montre qu'une telle hiérarchie traitant 40 données avec 15 agents dans un délai de 11 périodes peut être réduite en une structure irrégulière comportant 8 agents et traitant les données en 8 périodes³. Cette structure, où un agent possède un subordonné dans chaque niveau hiérarchique inférieur au sien, est efficiente car il n'est pas possible de réduire le nombre des agents sans faire augmenter le délai.

Radner (1993) met en évidence diverses combinaisons du nombre des agents et du délai qui correspondent à autant de structures efficientes. Ainsi, le traitement de 40 données en 40 périodes par un agent est efficient au même titre que le traitement de ces données en 7 périodes par 12 agents. Les structures comportant plus de 12 agents ne sont pas efficientes car l'ajout de nouveaux agents ne permet pas de réduire le délai à moins de 7 périodes⁴.

Le critère d'efficience de Radner (1993) repose sur un arbitrage entre coût et délai du traitement de l'information, mais d'autres critères d'efficience sont envisageables. Bolton et Dewatripont (1994) considèrent que l'organisation efficiente est celle qui maximise la fréquence de traitement des cohortes de données. Orbay (2002) intègre ce dernier critère dans le cadre du modèle de Radner (1993) et considère aussi la maximisation du nombre de données traitées. Grüner et Schulte (2004) utilisent le modèle de Radner (1993) pour montrer que la structure irrégulière permet de prendre des décisions de meilleure qualité. Dans le cadre de la problématique de sélection de projet initiée par Sah et Stiglitz (1985), ces auteurs observent que la plus forte probabilité de choisir le meilleur projet et la plus petite probabilité de choisir le plus mauvais projet sont données par la structure irrégulière.

L'approche de Radner (1993) permet d'obtenir le délai minimal de traitement de N données par P agents, mais elle ne dit pas pourquoi la hiérarchie régulière n'est pas efficiente. Les raisons pour lesquelles la hiérarchie irrégulière est efficiente alors que la hiérarchie régulière ne l'est pas apparaissent quand on compare directement la hiérarchie régulière à la hiérarchie

³ Ces deux structures administratives et le processus de réduction envisagé par Radner (1993) font l'objet d'une description détaillée lors du chapitre 1 (voir en particulier les graphiques 1.5 et 1.6).

⁴ Le chapitre 1 donne la formule qui exprime le délai C de la structure irrégulière en fonction du nombre de données à traiter N et du nombre d'agents P . Radner (1993) utilise cette formule pour montrer que plusieurs organisations sont efficientes pour traiter 40 données (pour plus de détails, voir le tableau 1.1 dans le chapitre 1).

irrégulière à l'aide d'un nouveau critère d'efficacité. Selon nous, l'organisation efficace est celle qui traite N données avec P agents durant le plus petit nombre de périodes⁵. La comparaison des hiérarchies régulières et irrégulières comportant un même nombre d'agents fait apparaître une différence dans le délai de traitement des données.

Cette différence de délai s'explique par deux facteurs relevant de l'organisation du traitement des données. D'une part, dans la hiérarchie irrégulière, tous les agents prennent en charge le traitement des données initiales alors que ce traitement est effectué par les agents appartenant à la base de la hiérarchie régulière. D'autre part, la coordination de l'action des agents dans la hiérarchie irrégulière minimise les périodes d'inactivité alors que cette coordination crée des périodes d'inactivité superflues dans la hiérarchie régulière. Les conséquences des différences en matière de coordination apparaissent quand on compare la hiérarchie irrégulière à une hiérarchie régulière « égalitaire » où tous les agents traitent des données initiales.

L'efficacité relative des activités administratives dépend des modalités de leur organisation, mais aussi des caractéristiques de leur environnement. Ainsi, le délai de la chaîne de montage où chaque agent possède un seul subordonné dépend de l'importance respective du nombre d'agents et du nombre de données à traiter. Quand le nombre d'agents est grand au regard du nombre de données, le délai est élevé et la chaîne de montage n'est pas efficace. Quand le nombre d'agents est faible au regard du nombre de données, la différence de délai avec la hiérarchie irrégulière s'atténue. Exceptionnellement, pour un nombre de données bien précis, la chaîne de montage est aussi rapide que la structure irrégulière et est donc efficace.

Enfin, l'évolution de la quantité des données à traiter peut modifier l'efficacité relative des hiérarchies régulières. Nous verrons lors du chapitre 3 que la hiérarchie régulière « large » où un agent possède 5 subordonnés devient plus rapide que la hiérarchie régulière « étroite » où un agent possède 2 subordonnés quand le nombre de données à traiter augmente.

En définitive, notre utilisation du modèle de Radner (1993) nous a conduit à assimiler l'efficacité des activités administratives au délai de traitement de N données par P agents. De plus, l'évolution de l'environnement est représentée par la variation de la quantité des données à traiter et non plus par la variance ou la volatilité des chocs comme dans la théorie des équipes. Ce nouveau critère nous a permis de montrer que l'efficacité des activités administratives est affectée par leur organisation et leur environnement. Il reste à déterminer si l'informatisation affecte l'efficacité et l'organisation des activités administratives.

⁵ La comparaison du délai concerne des structures comportant le même nombre d'agents à capacité de traitement homogène.

De ce point de vue, l'étude des liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives nous conduit à envisager de nouveaux aspects non abordés par la théorie des équipes. Nous verrons successivement que :

- 1) La diminution du délai consécutive à l'informatisation est fonction de l'organisation des activités administratives.
- 2) Le changement organisationnel se manifeste au-delà d'un seuil d'augmentation de la capacité de traitement des agents.
- 3) L'augmentation de la quantité des données à traiter engendre l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai à son niveau initial⁶.
- 4) De nouvelles prédictions quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives peuvent faire l'objet d'une vérification empirique.

Détaillons brièvement la nature et la portée de l'ensemble de ces résultats.

- La diminution du délai consécutive à l'informatisation est fonction de l'organisation des activités administratives

Brousseau et Rallet (1997, 1998), puis Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999) ont montré que l'architecture des organisations influence la diffusion des technologies. La contribution des TI à l'efficience dépend de l'ampleur de leur diffusion : elle est forte quand les unités sont centralisées et spécialisées car les besoins de coordination fonctionnelle sont importants. La question du rôle de l'organisation dans les gains d'efficience issus de l'informatisation n'est pas traitée par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Ceux-ci considèrent l'informatisation comme un facteur d'évolution de l'organisation sans s'interroger sur les différences dans la diffusion des technologies suivant les organisations.

Notre utilisation du modèle de Radner (1993) nous conduit à envisager l'informatisation d'un ou de plusieurs agents dans diverses organisations des activités administratives. Notre conception de l'informatisation diffère de celle de la théorie des équipes qui considère que l'augmentation de la capacité de traitement concerne tous les agents. De nouvelles structures viennent s'ajouter aux hiérarchies irrégulières et régulières étudiées par Radner (1993). La hiérarchie fortement déséquilibrée est caractérisée par la présence d'un grand nombre de subordonnés pour un agent, la chaîne de montage est caractérisée par la présence d'un seul subordonné pour chaque agent.

⁶ Radner (1993) n'envisage pas que le délai soit réduit par l'altération de la qualité du traitement de l'information par les agents. L'arbitrage entre le délai et les erreurs de traitement est étudié par Keren et Levhari (1989).

Quand l'informatisation concerne un agent, il apparaît que l'effet de l'informatisation sur le délai dépend de l'agent et du type de structure auquel l'informatisation s'applique. La réduction du délai est d'autant plus importante qu'un agent traite seul un grand nombre de données (hiérarchie fortement déséquilibrée). Quand l'informatisation concerne plusieurs agents, la diminution du délai s'interrompt rapidement quand l'action des agents est bien coordonnée. C'est le cas dans la structure irrégulière de Radner (1993) où le nombre de périodes d'inactivité est minimal, mais aussi dans la chaîne de montage.

La diminution du délai consécutive à l'informatisation dépend donc de la manière dont est organisé le traitement des données. Par conséquent, la diffusion des TI dépend également de l'organisation des activités administratives. Ce résultat est proche de ceux obtenus par Brousseau et Rallet (1997, 1998), puis Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999). Ce résultat semble également conforme à ceux des études empiriques qui considèrent l'organisation comme facteur explicatif des différences de performances. Ainsi, Brynjolfsson et Hitt (1998) estiment que la moitié des gains de productivité associés à l'informatisation s'expliquent par des pratiques organisationnelles propres aux entreprises. Ces auteurs donnent l'exemple de la délégation des décisions vers les opérationnels, de la constitution d'équipes autonomes ou de l'utilisation d'incitations au travail en groupe.

L'organisation des activités administratives est donc, selon nous, un déterminant essentiel du succès ou de l'échec de l'informatisation. Les divers modèles issus de la théorie des équipes considèrent au contraire que l'informatisation est un facteur qui fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives. En outre, notre utilisation du modèle de Radner (1993) nous permet de montrer que le changement organisationnel se manifeste quand l'augmentation de la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil.

- Un changement organisationnel se manifestant quand l'augmentation de la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil

Les analyses de la co-évolution estiment que l'informatisation n'est pas suffisante à elle seule pour modifier l'architecture de l'organisation qui dépend avant tout des conditions de marché. Selon Brousseau et Rallet (1997, 1998), l'informatisation peut affecter les principes de fonctionnement coordonnant l'action des agents et assurant le respect de leurs engagements en favorisant l'utilisation de principes reposant sur le traitement de nombreuses informations. Au contraire, les différents modèles s'inspirant de la théorie des équipes voient dans l'informatisation un facteur d'évolution de l'organisation optimale.

Orbay (2002), puis Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) ont utilisé le modèle de Radner (1993) pour montrer les conséquences de l'informatisation sur l'évolution de la taille optimale des activités administratives. Le principal inconvénient de ces analyses est qu'elles considèrent que l'informatisation fait systématiquement évoluer la taille optimale des activités administratives. Seuls Cukrowski et Baniak (1999) ont envisagé la possibilité que l'informatisation ne soit pas assez forte pour faire diminuer la taille optimale des activités administratives dans le modèle de Radner (1993). Néanmoins, ils ne précisent pas quel est le seuil d'augmentation de la capacité de traitement devant être atteint pour obtenir une évolution de la taille optimale des activités administratives.

Notre utilisation du modèle de Radner (1993) met en évidence les seuils d'augmentation de la capacité de traitement nécessaires à l'apparition du changement organisationnel. Ce changement peut prendre la forme d'une redistribution des données entre les agents, d'une modification des liens entre les agents, voire d'une diminution du nombre des agents. Notre modèle ne se limite pas à considérer l'évolution de la taille des activités administratives issue de l'informatisation. Il tient compte d'autres formes du changement organisationnel et de leurs conséquences sur le délai quand l'informatisation concerne seulement certains agents.

L'informatisation d'un seul agent a peu de chances de contribuer à une diminution des effectifs. En effet, pour supprimer un agent dans une structure administrative, il faut doubler la capacité de traitement d'un autre agent. La hiérarchie régulière « étroite » où chaque agent possède deux subordonnés fait exception : l'augmentation de la capacité de traitement de 50% pour un agent suffit pour supprimer plusieurs agents. Une représentation plus réaliste de l'informatisation montre qu'une augmentation de la capacité de traitement de 20% appliquée à quatre agents dans une hiérarchie « large » où chaque agent possède cinq subordonnés modifie les liens entre les agents et fait disparaître un ou deux agents.

L'informatisation doit donc faire augmenter la capacité de traitement des agents au-delà d'un certain seuil pour impliquer l'existence du changement organisationnel. Enfin, il reste à étudier les relations entre l'environnement, l'efficacité, l'informatisation et l'organisation dans le modèle de Radner (1993). L'augmentation de la quantité des données à traiter fait augmenter le délai, ce qui engendre l'informatisation puis le recrutement de nouveaux agents.

- L'augmentation de la quantité des données à traiter fait augmenter le délai, ce qui engendre l'informatisation puis le recrutement de nouveaux agents

Les auteurs qui ont analysé la co-évolution de l'informatisation et de l'organisation ont caractérisé de plusieurs manières l'environnement des entreprises et ses liens avec

l'organisation. Rallet (1995) a montré que le caractère stable ou instable de l'environnement (concurrence, technologies, cadre institutionnel) se répercute sur le type d'organisation mis en place (procédures formalisées ou organisation flexible). Brousseau et Rallet (1997, 1998) considèrent que l'incertitude de l'environnement rend les agents opportunistes et implique l'adoption de principes de fonctionnement coordonnant l'action des agents et veillant au respect de leurs engagements. Ces mêmes auteurs estiment en outre que les conditions de marché influencent l'architecture des organisations : la volatilité du marché joue en faveur de la décentralisation des décisions et de l'intégration des unités.

La théorie des équipes étudie les conséquences de la variance et de la volatilité des chocs sur la structure optimale des activités administratives. Par exemple, Aoki (1986, 1990) montre successivement qu'une augmentation de la volatilité des chocs favorise les structures d'information horizontales et fait diminuer le temps optimal d'apprentissage des ateliers. Plus récemment, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) ont intégré l'environnement au sens de la théorie des équipes dans le modèle de Radner (1993) pour déterminer l'influence de la variance et de la volatilité des aléas sur la taille optimale des activités administratives.

Notre utilisation du modèle de Radner (1993) nous conduit à assimiler l'évolution de l'environnement à une augmentation de la quantité des données à traiter qui fait augmenter le délai. Ceci peut susciter un changement organisationnel prenant des formes diverses (modification des liens, polyvalence des agents, décentralisation des décisions voire augmentation du nombre des agents). Mais au-delà d'un certain nombre de données à traiter, seule l'informatisation de tous les agents permet de maintenir le délai quand l'augmentation de la capacité de traitement et de la quantité des données à traiter sont comparables.

Notre cadre méthodologique ne se limite pas à étudier les liens entre l'environnement, l'informatisation, l'organisation et l'efficacité des activités administratives. Il permet également de formuler de nouvelles propositions testables quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives.

- De nouvelles propositions testables quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives

La théorie des équipes et les modèles représentant l'agrégation de l'information donnent des prédictions contradictoires quant à l'influence respective de l'informatisation, de la variance et de la volatilité des chocs sur la taille des activités administratives. Par exemple, Bolton et Dewatripont (1994) estiment que les TI font diminuer la taille optimale des activités administratives. Cukrowski et Baniak (1999) conditionnent cette baisse à un changement

technique suffisamment fort. Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) considèrent que cette taille optimale augmente quand les agents ne sont pas rémunérés. Enfin, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) affirment que la taille optimale diminue quand les agents sont rémunérés.

Notre modèle nous permet de formuler de nouvelles propositions quant aux liens entre environnement, informatisation et taille des activités administratives.

- 1) L'informatisation engendre une diminution de la taille quand l'amélioration de la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil.
- 2) L'augmentation de la quantité des données à traiter implique une augmentation du délai et suscite l'informatisation des agents pour maintenir le délai initial.
- 3) Au-delà d'un certain nombre de données à traiter, le délai est maintenu par l'informatisation et l'augmentation du nombre des agents.

Ces trois propositions sont originales au regard des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. La diminution de la taille des activités administratives sous condition d'une augmentation suffisamment forte de la capacité de traitement des agents n'est évoquée que par Cukrowski et Baniak (1999). Les modèles s'inspirant de la théorie des équipes n'envisagent que les conséquences de l'environnement sur l'organisation et ignorent les liens entre l'informatisation et l'environnement. Les effets opposés de l'informatisation et de l'environnement sur la taille sont mentionnés par Meagher, Orbay et Van Zandt (2002). Selon eux, la diminution de la taille des entreprises constatée dans les études empiriques consécutivement à l'informatisation résulte de la volatilité de l'environnement.

Curieusement, les études empiriques s'inspirant de la théorie des équipes ne traitent pas des relations entre informatisation, environnement et taille. Delmastro (2002) s'intéresse aux déterminants du nombre de niveaux hiérarchiques dans les usines métallurgiques italiennes. Colombo et Delmastro (2004) recherchent les déterminants de la délégation des décisions vers les responsables de ces usines. Les études empiriques traitant des liens entre informatisation et taille des entreprises ne reposent pas sur la théorie des équipes mais sur la théorie des contrats incomplets introduite par Grossman et Hart (1986), puis Hart et Moore (1990).

Il est donc intéressant de conduire une étude empirique pour déterminer si l'environnement et l'informatisation ont un lien avec la taille des entreprises. Nous utilisons les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » conduite en 1997 par l'INSEE et la DARES auprès des dirigeants et des salariés des entreprises comptables françaises.

- Une étude empirique originale des liens entre l'informatisation, l'environnement et la taille des entreprises comptables françaises

L'étude empirique des liens entre l'informatisation, l'environnement et la taille des entreprises est originale de plusieurs points de vue. D'une part, les études empiriques s'inspirant de la théorie des équipes ne traitent pas des relations entre informatisation, environnement et taille. D'autre part, les études empiriques de Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994), de Wenger (1999) et de Baker et Hubbard (2003) qui étudient les relations entre informatisation et taille reposent sur la théorie des contrats incomplets. Enfin, aucune de ces études empiriques ne tient compte de l'influence des variables décrivant l'environnement des entreprises sur la taille.

Les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » sont utilisées pour étudier les liens entre l'environnement, l'informatisation et la taille des entreprises comptables. Ces entreprises relèvent d'une activité de main-d'œuvre et sont composées à 85% d'employés, de cadres et de professions intermédiaires qui effectuent des tâches administratives. Ceci nous conduit à considérer que les phénomènes affectant la taille des activités administratives affectent également la taille des entreprises comptables.

Expliquer la taille des entreprises comptables en 1997 par leur niveau d'informatisation en 1997 pose problème dans la mesure où les grandes entreprises peuvent consacrer plus de moyens à leur informatisation. C'est pourquoi nous considérons le lien entre l'évolution de la taille et l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. La taille des entreprises comptables est mesurée par leurs effectifs au 31 décembre pour les années 1994 et 1997. L'informatisation est décrite par une vingtaine de variables qualitatives décrivant l'utilisation des matériels, des logiciels, l'existence de transferts informatisés avec les partenaires, l'utilisation d'Internet, de la messagerie, etc⁷.

Une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) est utilisée pour transformer ces variables qualitatives en une variable synthétique quantitative utilisée plus tard dans diverses régressions. Deux conceptions de l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997 sont envisagées. Premièrement, introduire dans l'ACM des variables qualitatives construites pour décrire l'adoption, l'absence d'adoption, le maintien ou l'abandon des matériels, logiciels et transferts. Deuxièmement, procéder à une ACM pour synthétiser les variables qualitatives initiales en 1997, procéder à une deuxième ACM pour synthétiser ces mêmes variables en 1994 et faire la différence des indicateurs synthétiques pour un même système de poids⁸.

⁷ Le questionnaire relatif au volet « entreprises comptables » est disponible à l'adresse www.enquete-coi.net

⁸ L'annexe 4 du chapitre 6 décrit les variables qualitatives retenues dans ces différentes ACM.

Plusieurs variables qualitatives de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » décrivent l'environnement des entreprises comptables. Nous considérerons donc dans les régressions l'incertitude sur les marchés et l'existence de fluctuations de la demande prévues ou imprévues par les dirigeants. Enfin, d'autres variables peuvent être liées à l'évolution de la taille des entreprises, comme leur taille initiale, l'existence d'une stratégie reposant sur la croissance externe, l'augmentation du nombre de fonctions administratives, l'évolution de l'investissement, des charges financières et de l'excédent brut d'exploitation entre 1994 et 1997.

A la suite du modèle présenté lors de la deuxième partie, nous étudions les conséquences de l'informatisation sur la taille sans tenir compte des variables décrivant l'environnement des entreprises, puis en tenant compte de ces variables. Les régressions envisagent aussi que certaines variables puissent affecter l'informatisation sans avoir de lien avec la taille, constituant de bons instruments pour tester l'endogénéité éventuelle des TI. Les contraintes liées aux réglementations administratives et professionnelles peuvent ainsi favoriser l'informatisation sans faire évoluer la taille entre 1994 et 1997. Selon Cases et Rouquette (1999, 2000), l'appartenance à un réseau d'entreprises favorise l'informatisation.

Les résultats des régressions montrent que l'informatisation est liée positivement à la taille des entreprises comptables, mais de manière non significative. L'environnement des entreprises affecte à la fois leur taille et leur informatisation. L'incertitude sur les marchés fait obstacle à la croissance alors que les fluctuations imprévues de la demande favorisent l'informatisation. L'appartenance à un réseau orienté vers l'international favorise l'informatisation alors que l'appartenance à un réseau reposant sur la spécialisation fait obstacle à l'informatisation. Bien que les instruments soient valides, il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse d'exogénéité de l'informatisation.

Conformément aux prédictions de notre modèle, l'informatisation ne suscite pas une augmentation de la capacité de traitement suffisante pour faire diminuer la taille des entreprises comptables. De plus, les fluctuations prévues ou imprévues de la demande ont un effet positif, mais non significatif sur l'évolution de la taille des entreprises comptables. Enfin, conformément à notre modèle, les fluctuations prévues de la demande ont un effet positif et significatif sur l'une des mesures de l'informatisation alors que les fluctuations imprévues de la demande ont un effet positif et significatif sur l'informatisation.

En définitive, nous retiendrons un plan de thèse composé de trois parties.

- Un plan de thèse composé de trois parties

La première partie traite de l'analyse économique des activités administratives. Dans cette première partie, le chapitre 1 montre la variété des caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes et des modèles d'agrégation de l'information. Le chapitre 2 étudie la manière dont évoluent les caractéristiques de ces organisations optimales en fonction de la variance et de la volatilité des aléas, puis en fonction de l'amélioration de la capacité de traitement des agents. Cette partie fait apparaître le caractère contradictoire des prédictions des modèles quant au sens de l'évolution de la taille optimale des activités administratives.

La deuxième partie traite des nouveaux aspects de l'analyse économique des activités administratives qui n'ont pas été abordés par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Le chapitre 3 considère que l'organisation efficiente est celle qui est la plus rapide pour traiter N données avec P agents. Il apparaît que l'organisation et l'environnement des activités administratives (nombre de données à traiter) ont une influence sur l'efficience. Le chapitre 4 met en évidence le rôle de l'organisation dans la diminution du délai issue de l'informatisation et dans la diffusion des TI. Il montre aussi que la diminution du nombre des agents dépend du dépassement d'un seuil relatif à leur capacité de traitement. L'augmentation du nombre de données à traiter fait augmenter le délai et suscite l'informatisation, voire le recrutement de nouveaux agents.

La troisième partie traite des liens entre l'informatisation et la taille des entreprises d'un point de vue empirique. Le chapitre 5 présente des études qui s'inspirent de la théorie des contrats incomplets où l'informatisation fait augmenter la taille des entreprises dans les services et fait diminuer la taille dans l'industrie. Le chapitre 6 s'efforce de vérifier les prédictions des deux premières parties en utilisant les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » relatives aux activités comptables. L'informatisation a un effet positif mais non significatif sur la taille de ces entreprises alors que l'environnement affecte à la fois l'informatisation et la taille. Bien que l'appartenance à un réseau favorise l'informatisation, il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse d'exogénéité de l'informatisation.

PREMIERE PARTIE : L'ANALYSE ECONOMIQUE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES

Lors de l'introduction, nous avons vu que les relations entre informatisation, organisation et performances peuvent être considérées de plusieurs façons. La théorie des équipes introduite par Marschak (1955), puis Marschak et Radner (1972) assimile l'informatisation et l'environnement à des facteurs de contingence affectant l'organisation optimale des activités administratives. Simon (1973) estime que la conception de l'organisation est un facteur déterminant dans le succès ou dans l'échec de l'informatisation. Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999) retiennent une optique de co-évolution où l'organisation influence la diffusion des technologies, lesquelles affectent la coordination des agents et la définition des performances.

Lors de cette première partie, nous procéderons à une description de l'analyse économique des activités administratives telle qu'elle est envisagée par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Notre objectif étant de mettre en évidence de nouveaux aspects dans les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience, nous sommes amenés à ne considérer qu'une partie des modèles où des agents à rationalité limitée traitent de l'information. Par exemple, nous n'aborderons pas les modèles qui traitent de la nature des rendements d'échelle des activités administratives (Beckmann 1960, 1977, Williamson 1967, Keren et Levhari 1983), ni les modèles relatifs à la sélection des projets d'investissements (Sah et Stiglitz 1985).

Nous considérerons donc les modèles de théorie des équipes et les modèles représentant l'agrégation de l'information s'inspirant de cette théorie. Dans ces modèles, l'organisation optimale est celle qui minimise les coûts associés au traitement de l'information. De plus, les caractéristiques de cette organisation optimale des activités administratives évoluent en fonction de divers facteurs de contingence. Le chapitre 1 montre la variété des caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives. Le chapitre 2 décrit l'évolution des différentes caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives.

CHAPITRE 1 : LA VARIETE DES CARACTERISTIQUES DE L'ORGANISATION OPTIMALE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES

Les activités administratives ont pour but de répondre aux problèmes suscités par la rationalité limitée des agents et ont par conséquent des finalités diverses. Elles peuvent contribuer à sélectionner de meilleurs projets d'investissements, à superviser l'action des agents ou à résoudre les problèmes survenus lors du processus de production. Elles peuvent également diminuer les coûts associés à la prise des décisions et le temps nécessaire pour agréger une certaine quantité de données.

Dans la théorie des équipes, l'organisation optimale des activités administratives est celle qui minimise les coûts d'observation, les coûts de communication et les coûts de prise de décision. Suivant l'importance respective de ces coûts, les agents peuvent prendre des décisions différentes en se fondant sur des informations différentes. Dans un premier temps, nous envisagerons la décentralisation de l'information et des décisions dans la théorie des équipes.

Dans les modèles représentant l'agrégation de l'information, l'organisation optimale des activités administratives est celle qui minimise les coûts et le délai d'agrégation d'une certaine quantité de données. Suivant l'importance respective de ces coûts, le nombre d'agents se consacrant à cette activité d'agrégation est plus ou moins important. Dans un deuxième temps, nous envisagerons la décentralisation du traitement de l'information dans les modèles où l'agrégation des données constitue un préalable à la prise des décisions.

D) La décentralisation de l'information et des décisions dans la théorie des équipes

La théorie des équipes trouve son origine dans la théorie statistique de la décision qui montre comment un agent acquiert de l'information et prend ses décisions sans avoir toutes les informations pertinentes. Selon Marschak et Radner (1972), une équipe est un ensemble de personnes prenant des décisions différentes sur la base d'informations différentes. Le résultat de l'équipe dépend de l'action de chacun de ces agents. La théorie des équipes suppose que les agents adhèrent à des objectifs communs, ce qui la conduit à ignorer les questions relatives aux incitations.

Marschak (1955) donne un exemple simplifié où deux agents prennent chacun une décision en fonction de la manière dont ils perçoivent l'état de leur environnement. Il considère une situation où l'observation de l'environnement est coûteuse, de même que la communication des observations à un autre agent. Il montre que l'organisation de l'équipe a pour but de

maximiser le gain net des coûts d'observation et de communication. Dans un premier temps, nous verrons que la rationalité limitée des agents engendre des structures d'information et des formes organisationnelles variées.

La théorie des équipes ne se limite pas à une description formelle des structures d'information et des formes organisationnelles. Elle a fait l'objet d'applications concrètes dans le domaine de la réservation aérienne (Beckmann 1958) ou de l'approvisionnement des boulangeries (McGuire 1961). Plus récemment, Carter (1995) a décrit les échanges d'information entre le service de production et le service marketing en cas d'incertitude sur les coûts de production et sur la demande des consommateurs. Dans un second temps, nous verrons que la théorie des équipes montre comment le système d'information des entreprises contribue à la révision des plans de production.

A- La rationalité limitée des agents engendre des structures d'information et des formes organisationnelles variées

Les membres d'une équipe doivent prendre des décisions sans avoir en leur possession la totalité des informations pertinentes. En effet, les agents décident en fonction d'un nombre limité d'observations imparfaites quant à l'état de l'environnement. Dans le cadre d'une équipe, les membres utilisent une règle de décision qui simplifie leurs choix. L'organisation optimale de l'équipe peut être déterminée de plusieurs façons. D'une part, pour une structure d'actions et de décisions données, il s'agit de retenir la structure d'information qui minimise les coûts d'observation et de communication. D'autre part, il s'agit de choisir la règle de décision optimale qui maximise le gain net de l'équipe.

Selon Marschak et Radner (1972), une forme organisationnelle décrit la manière dont les agents observent, communiquent et décident. Elle consiste donc en une structure d'information et en une règle de décision. Dans un premier temps, nous verrons que les coûts d'observation et de communication peuvent engendrer des structures d'information caractérisées par une spécialisation de l'action des agents. Dans un second temps, nous verrons que les coûts associés à la prise de décision peuvent engendrer des formes organisationnelles où les décideurs sont séparés des exécutants.

1) *Les coûts d'observation et de communication peuvent engendrer des structures d'information caractérisées par une spécialisation de l'action des agents*

La théorie des équipes utilise un concept d'information issu de la théorie statistique de la décision. L'information propre à un membre de l'équipe est décrite par une loi de probabilité a priori définie sur l'espace des signaux possibles. Un agent acquiert de l'information et fait évoluer cette loi en observant un signal qui reflète de manière imparfaite l'état du monde. Formellement, un agent i perçoit un signal y_i relativement à l'état de l'environnement x . y_i est une distribution de probabilités ou une partition sur l'ensemble des états de l'environnement X . La structure d'information de cet agent est une fonction η_i qui relie les états possibles de l'environnement aux signaux perçus par l'individu. Ainsi : $y_i = \eta_i(x)$ (1)

Les agents sont dotés d'une rationalité limitée car ils ne disposent pas de toute l'information pertinente pour prendre les décisions. De plus, ils déforment l'information quand ils communiquent celle-ci à d'autres membres de l'équipe. L'existence d'un coût d'observation et d'un coût de communication a pour conséquence la décentralisation de l'information. Deux agents i et j appartenant à une même équipe ont des structures d'information distinctes. Ainsi, $\eta_i(x) \neq \eta_j(x)$ (2)

Selon Marschak et Radner (1972), la prise de décision dans les entreprises s'appuie sur la réception, le traitement et la communication de messages. La structure d'information décrit comment ces activités de réception, de traitement et de communication sont réparties entre les agents dans l'équipe. Cette structure d'information se caractérise par des coûts d'observation et de communication qui affectent le profit des entreprises. La minimisation de ces coûts peut impliquer une spécialisation des agents dans les activités d'observation, de traitement et de communication de l'information.

Marschak et Radner (1972) considèrent plusieurs structures d'information où chaque membre observe indépendamment des autres la réalisation d'une variable aléatoire $\xi_i(x)$. Ces structures se distinguent par la manière dont les observations sont faites et par l'existence ou non d'une communication entre les membres de l'équipe.

Premièrement, les agents peuvent se dispenser d'observer et de traiter de l'information quand ils possèdent une information indépendante de l'état du monde. Dans ce cas, $\eta_i(x) = c$. Deuxièmement, la structure d'information est décentralisée quand les agents observent les signaux et ne communiquent pas entre eux. Dans ce cas, $\eta_i(x) = \xi_i(x)$. Troisièmement, la structure d'information est centralisée quand les agents communiquent l'ensemble de

l'information dont ils disposent aux autres membres de l'équipe. Dans ce cas, $\eta_i(x) = \xi(x)$. Quatrièmement, la structure d'information est également centralisée quand l'information des agents est complète. Dans ce cas, $\eta_i(x) = x$.

La structure d'information peut être caractérisée par des situations intermédiaires entre la centralisation ou la décentralisation totale. Un échange partiel d'information permet la mise en commun de certaines informations à l'aide d'une communication vers un groupe ou d'une dissémination d'informations. Dans le dernier cas, l'information communiquée aux membres de l'équipe représente une synthèse des signaux observés. Les communications de situations exceptionnelles et les conférences exceptionnelles donnent aux agents une information commune. Enfin, la décentralisation partielle de l'information résulte de l'erreur associée à la transmission de l'information entre les membres de l'équipe.

Quand la structure des actions et des décisions est donnée, l'équipe optimale est celle dont la structure d'information minimise le coût d'observation et de communication. Le plus souvent, la valeur d'une structure d'information est déterminée à l'aide d'une comparaison avec le cas routinier où les agents prennent leurs décisions sans observer ni traiter d'information. Mais il est également possible de déterminer quelle est la règle de décision optimale pour une structure d'information donnée.

Les coûts d'observation et de communication peuvent donc engendrer des structures d'information caractérisées par une spécialisation de l'action des agents. La rationalité limitée des agents ne s'applique pas seulement à l'observation, au traitement et à la communication de l'information. Elle s'applique aussi à la prise de décision car les agents résolvent imparfaitement les problèmes complexes. Ces agents peuvent alors se spécialiser dans la décision ou dans leur exécution, ce qui engendre des formes organisationnelles variées.

2) Les coûts associés à la prise de décision peuvent engendrer des formes organisationnelles où les décideurs sont séparés des exécutants

La rationalité limitée des agents implique des coûts d'observation et de communication, mais aussi des coûts de prise de décision. La spécialisation des agents ne se limite pas à la collecte et au traitement de l'information : elle s'applique aussi à la prise des décisions. Suivant l'information dont il dispose, le décideur peut agir lui-même ou bien communiquer des instructions à d'autres agents chargés de l'exécution des actions. L'action a_i réalisée par l'individu i est déterminée par la règle de décision α reliant l'ensemble des signaux à l'ensemble des actions. Formellement : $a_i = \alpha_i(y_i)$ (3)

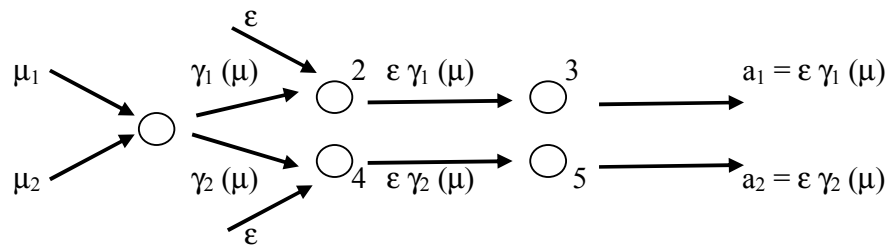
Cette règle de décision simplifie le choix des agents quand ceux-ci ne disposent pas de toute l'information pertinente pour prendre leurs décisions. L'action des agents i et j est spécialisée quand l'ensemble des actions qui leur sont propres A_i et A_j sont distincts. Cette spécialisation dans l'action est justifiée par les coûts associés à la prise des décisions. Une décision est décomposée en plusieurs problèmes traités par des individus différents et les décisions peuvent être prises par des agents qui ne sont pas chargés de leur exécution.

Par conséquent, une équipe se définit par une structure d'information et par une règle de décision montrant comment la prise des décisions et leur exécution sont réparties entre ses différents membres. Plusieurs formes organisationnelles sont envisageables suivant la manière dont le travail est divisé entre les agents. Certains peuvent se spécialiser dans l'observation de l'environnement et d'autres dans le traitement et la communication des messages. Certains peuvent se spécialiser dans la prise de décisions et d'autres dans l'exécution des instructions. Les décisions sont centralisées quand elles sont élaborées par un seul membre de l'équipe qui peut cependant transmettre des instructions à des exécutants.

Marschak et Radner (1972) distinguent sept formes organisationnelles élémentaires suivant que l'information et la décision soient centralisés ou décentralisés. Premièrement, quand les membres de l'équipe n'adaptent pas leur action à l'environnement, ils agissent de manière routinière. Deuxièmement, quand les actions sont réalisées en parallèle par les agents sans communication entre eux, l'information et la décision sont totalement décentralisés.

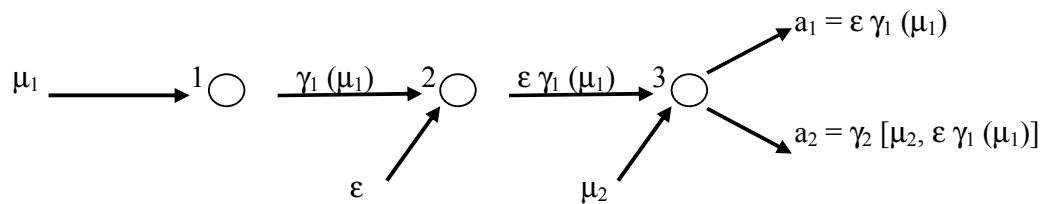
Troisièmement, l'information et la décision sont centralisés dans une équipe de deux membres quand le premier est spécialisé dans l'observation, le traitement et la décision et quand le second se contente d'agir conformément aux instructions. Quatrièmement, un troisième membre spécialisé dans la communication est inclus dans l'équipe, ce qui introduit un bruit dans l'information transmise à l'agent chargé d'appliquer les décisions.

Cinquièmement, les membres de l'équipe sont spécialisés dans la réalisation d'une tâche donnée mais les décisions relatives à chaque action sont toujours centralisées. Les tâches propres à chaque sorte d'action sont réalisées en parallèle alors que la communication des instructions et l'action pour une tâche donnée sont réalisées en série. Dans le graphique ci-dessous, l'agent 1 procède à deux observations μ_1 et μ_2 , puis envoie des instructions $\gamma_1(\mu)$ et $\gamma_2(\mu)$ aux agents 2 et 4 spécialisés dans la communication. Ces agents transmettent les instructions aux agents 3 et 5 avec un bruit ε . Ces agents exécutent les consignes en tenant compte du bruit et réalisent les actions a_1 et a_2 .



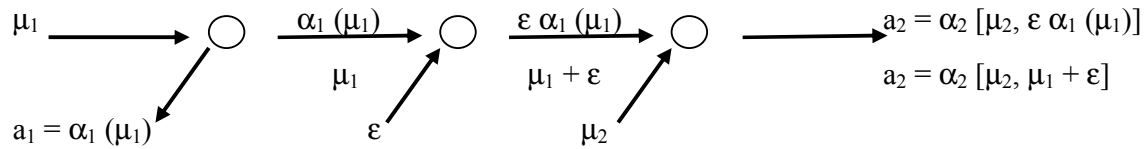
Graphique 1.1 : Décision centralisée avec des agents spécialisés dans la communication et dans l'exécution des instructions

Sixièmement, la décision est partiellement décentralisée car deux éléments prennent des décisions, soit de manière autonome, soit en suivant les instructions reçues. Ainsi, dans le graphique ci-dessous l'agent 1 prend les décisions relatives à l'action 1 et transmet ses instructions à l'agent 3 par l'intermédiaire de l'agent 2. L'agent 3 exécute les instructions de l'agent 1 en tenant compte du bruit apporté par l'agent 2 et ajoute cette information à son observation μ_2 pour décider de l'action 2.



Graphique 1.2 : Décentralisation partielle des décisions où l'agent 3 utilise les instructions de l'agent 1 pour décider de l'action 2

Septièmement, l'agent 1 qui décide de manière autonome transmet de l'information relative à son action ou à ses observations à l'agent 3. Celui-ci fait reposer sa propre décision sur ces informations qui permettent de coordonner l'action des deux agents.



Graphique 1.3 : Décentralisation des décisions où l'agent 3 utilise les informations de l'agent 1 (observation ou décision) pour décider de l'action 2

La forme organisationnelle optimale de l'équipe correspond à la structure d'information et à la règle de décision maximisant l'utilité espérée compte tenu des coûts associés à la rationalité limitée. Marschak et Radner (1972) négligent ce dernier aspect et supposent que l'action des agents a pour but de maximiser une fonction de gain quadratique. Cette forme fonctionnelle présente l'avantage de distinguer l'effet de l'action de chaque agent de l'effet de l'action conjointe des membres de l'équipe. Elle tient compte de l'ajustement des actions résultant de l'échange d'informations entre les agents.

La théorie des équipes montre l'existence de structures d'information et de formes organisationnelles variées en présence de coûts d'observation, de communication et de prise de décision. Cette théorie a fait l'objet de certaines applications empiriques dans le cas d'une incertitude relative aux coûts des établissements ou à la demande de produits. Carter (1995) étudie la manière dont s'articulent les échanges d'information entre les services chargés de la production et du marketing. En présence d'une incertitude relative aux coûts de production, la théorie des équipes montre comment le système d'information des entreprises contribue à la révision des plans de production.

B- La théorie des équipes montre comment le système d'information des entreprises contribue à la révision des plans de production

La théorie des équipes a été utilisée de plusieurs manières pour décrire le système d'information des entreprises. Plusieurs organisations du système d'information sont envisageables pour réduire les coûts associés aux aléas venant affecter la production des ateliers. D'une part, Aoki (1986, 1990) considère la technologie des ateliers comme donnée et oppose la prise de décision par le centre à la prise de décision par les ateliers. Il envisage diverses structures d'information horizontales et verticales dont le but est d'assurer l'ajustement à court terme du processus de production.

D'autre part, Geanakoplos et Milgrom (1991) considèrent une structure hiérarchique où des managers ont la responsabilité d'un service composé de plusieurs ateliers. Le sommet hiérarchique décide des quantités de facteurs à allouer aux ateliers et fixe les objectifs de production qu'il répartit entre ses subordonnés directs. Ces derniers vont procéder à une nouvelle subdivision des objectifs en fonction de l'information qu'ils possèdent sur les coûts des ateliers. Les membres de l'équipe ont un temps et des capacités limitées pour observer les coûts des ateliers ce qui influence la manière dont les objectifs de production sont décomposés dans la structure hiérarchique.

1) *Une variété de structures d'information horizontales et verticales pour assurer l'ajustement à court terme du processus de production*

Dans le cadre d'une comparaison entre les entreprises industrielles américaines et japonaises, Aoki (1986) oppose les structures d'information horizontales aux structures d'information verticales. Ces diverses structures d'information ont pour objet d'assurer l'ajustement à court terme du processus de production. Elles sont donc chargées de prendre les décisions opérationnelles et non pas les décisions stratégiques. Cet auteur utilise la théorie des équipes pour déterminer si ces décisions sont prises par le centre (firme A) ou par les ateliers qui sont directement confrontés aux chocs affectant le processus de production (firme J).

Aoki (1986) considère une entreprise composée de n ateliers produisant chacun s biens. Ces ateliers sont en situation d'interdépendance technique car ils procèdent entre eux à des transferts de produits intermédiaires. En effet, un bien j produit par un atelier i en quantité x_{ij} peut être utilisé comme facteur de production par un autre atelier. De plus, la production de l'atelier i est affectée par des chocs qui sont représentés par des variables aléatoires u_i .

Le problème de l'équipe consiste à minimiser le coût de production compte tenu des chocs pour une technique de production donnée. Il s'agit donc de trouver l'organisation de la

collecte, du traitement et de la communication de l'information qui minimise l'erreur associée à la planification de la production. Les règles de décision optimales concernent le niveau de production des ateliers et elles permettent d'obtenir les coûts totaux correspondant à chaque structure d'information. Formellement, le programme de l'équipe consiste à minimiser l'espérance du coût total sous contrainte d'égalité entre emplois et ressources. Il est décrit par l'équation suivante :

$$\begin{aligned} \underset{x_i}{Min} \quad & E[C(x, u)] = \sum_i E[C_i(x_i, u_i)] \\ \text{s.c.} \quad & x = \sum_i x_i \end{aligned} \tag{4}$$

Aoki (1986) envisage plusieurs structures d'information décrivant qui prend les décisions d'ajustement de la production et à l'aide de quelle information. Dans le cas routinier, aucune information n'est collectée sur les coûts, ce qui implique un contrôle imparfait car la production est planifiée en fonction de l'espérance des aléas. Lors du choix d'une structure d'information, l'objectif consiste à s'éloigner des résultats du cas routinier pour se rapprocher de ceux du contrôle parfait.

Aoki (1986) considère l'existence d'une structure d'information verticale où le centre décide de la production des ateliers en s'appuyant sur une observation imparfaite des chocs. Cette observation est d'autant plus imparfaite que le rapport entre la variance de l'erreur du centre et la variance de l'aléa est important. Par la suite, γ désigne l'imprécision de l'évaluation du centre et Δ désigne le temps nécessaire à la mise en œuvre du plan de production. De plus, les aléas suivent un processus autorégressif d'ordre 1 où la relation temporelle entre les aléas tient compte du temps de planification Δ , de la volatilité de l'environnement h et de la variance de l'aléa.

Aoki (1986) envisage une autre structure d'information verticale où le centre pondère son observation avec l'estimation du cas routinier fondée sur l'espérance des aléas. Il montre que le coefficient de pondération α est faible quand l'observation est imprécise, quand elle demande du temps et que l'environnement est volatil.

Ces deux structures d'information verticales sont caractérisées par la centralisation des décisions et par la spécialisation des fonctions. Le centre observe, calcule et décide alors que les ateliers exécutent. Mais Aoki (1986) étudie également les structures d'information horizontales où les décisions sont décentralisées et où la conception et l'exécution sont intégrées. Dans ces structures, les ateliers ont une capacité d'apprentissage et ils sont capables

de prendre des décisions mutuellement cohérentes. Aoki (1986, 1990) représente la prise de décision des ateliers avec trois structures d'information différentes.

La coordination quasi horizontale correspond à une structure d'information où les ateliers peuvent parfaitement identifier les chocs, mais où ils peuvent aussi se tromper. Dans ce dernier cas, les ateliers savent qu'ils ont commis une erreur et ils font reposer leur décision sur l'espérance des aléas. De plus, la capacité à identifier un choc s'améliore avec le temps, ce qui rapproche progressivement les résultats de la structure quasi horizontale de ceux du contrôle parfait. Ce phénomène est décrit par une loi de Gompertz où les paramètres β et k représentent l'inverse de la capacité à reconnaître la bonne information et la vitesse d'apprentissage.

Cette structure d'information est quasi horizontale car il n'existe pas de communication entre les ateliers : ceux-ci décident en se fondant sur une information parfaite ou imparfaite. La deuxième structure d'information horizontale envisagée par Aoki (1986) remédie à cet inconvénient. La coordination horizontale imparfaite donne une définition restrictive du type de choc qu'un atelier peut identifier correctement. Quand deux ateliers identifient un choc sur l'un des produits qu'ils échangent, ils minimisent leurs coûts en mettant en commun l'information qu'ils possèdent. Quand un atelier n'est pas capable d'identifier un choc, il décide en se reposant sur l'espérance des aléas.

La coordination entre les ateliers se limite donc à des échanges bilatéraux et ne traite pas de la communication complète. Celle-ci est étudiée dans la troisième structure d'information horizontale considérée par Aoki (1990). Dans le modèle de participation, les ateliers échangent des messages bruités sur les chocs qu'ils observent de manière imparfaite. Les ateliers ont des informations identiques quand la communication entre eux est complète. Le traitement de l'information par les ateliers suppose qu'ils consacrent une partie de leur temps à l'apprentissage et à la communication. Ce modèle est comparé à la situation où les décisions sont prises par le centre sans acquisition d'information sur la base de l'espérance des aléas.

Aoki (1990) suppose que la précision $ex\ post\ h(t)$ dépend de la précision $ex\ ante\ h(0)$ et que la précision des ateliers s'améliore selon une loi de Gompertz avec le temps t_1 consacré à l'apprentissage. De plus, les ateliers consacrent un temps t_2 à la communication qui doit être déduit du temps total T pour déterminer le temps consacré aux activités productives. Enfin, par hypothèse, chaque atelier dispose de la même capacité initiale h_0 à traiter l'information et la développe de manière uniforme.

Le temps optimal d'apprentissage des ateliers t_1^* est celui qui maximise la rente informationnelle compte tenu de la contrainte de temps. La rente informationnelle est donnée par l'équation suivante : $R = [T - t_1^* - \bar{t}_2] \cdot V(t_1^*) - (t_1^* + \bar{t}_2) \cdot \Pi^*$ (5)

$T - t_1 - t_2$ représente le temps consacré à la production, Π le profit associé au contrôle imparfait et $V(t_1)$ la valeur de la structure d'information associée à un investissement t_1 en capacité de traitement de l'information. L'importance du rôle des ateliers dans la prise des décisions dépend du temps qu'ils consacrent à l'apprentissage : quand $t_1^* = 0$, les décisions sont prises par le centre qui se fonde sur l'espérance des aléas. Aoki (1990) montre que le temps d'apprentissage optimal t_1^* est d'autant plus important que la précision ex ante $h(0)$ est faible. Nous verrons lors du chapitre suivant que ce temps d'apprentissage dépend également de l'imprécision de l'information initiale et de la volatilité de l'environnement.

Aoki (1986, 1990) a donc mis en évidence l'existence de diverses structures d'information horizontales et verticales ayant pour but d'ajuster à court terme la production aux aléas. Cet auteur tient compte de l'existence de modes de coordination non hiérarchiques reposant sur l'apprentissage et les échanges d'informations entre les ateliers. Néanmoins, la théorie des équipes peut aussi être utilisée pour décrire les modalités de la coordination dans une structure hiérarchique. Geanakoplos et Milgrom (1991) montrent comment les objectifs de production sont décomposés dans une structure hiérarchique où les managers ont un temps et des capacités d'observation limitées.

2) La décomposition des objectifs de production dans une structure hiérarchique où les managers ont un temps et des capacités d'observation limitées

Nous avons vu que Aoki (1986, 1990) utilise la théorie des équipes pour décrire plusieurs sortes de structures d'information horizontales et verticales. Geanakoplos et Milgrom (1991) se servent de cette théorie pour étudier l'organisation hiérarchique des entreprises où les ateliers sont regroupés dans des services. Leur modèle diffère de celui de Crémer (1980) selon lequel le nombre optimal d'ateliers dans un service dépend des caractéristiques physiques de la production. Geanakoplos et Milgrom (1991) estiment que la taille optimale des services ne dépend pas des transferts de produits entre les ateliers mais de la capacité des managers à observer les chocs affectant les ateliers.

Ainsi, le coût de production de chacun des N ateliers de l'entreprise est affecté par une variable aléatoire γ . Le responsable de chaque service chargé d'observer un groupe d'ateliers est limité par le temps τ disponible pour traiter l'information et par sa propre capacité α . Cette

dernière dépend à la fois de ses compétences propres et de la qualité du système d'observation dont il dispose. Quand il évalue la variable γ , le manager commet une erreur représentée par la variable ε qui est d'autant plus faible que son temps d'observation et ses capacités sont importantes.

Les décisions prises par les managers concernent les quantités de facteurs allouées et les quantités de produits devant être fabriquées par les ateliers dont ils ont la responsabilité. Ces décisions résultent de la minimisation du coût espéré sous contrainte d'égalité entre les emplois et les ressources. Les managers appartiennent à une organisation hiérarchique où le sommet fixe un objectif de production qu'il répartit entre ses subordonnés. Ceux-ci utilisent l'information dont ils disposent quant au coût des ateliers pour répartir les objectifs entre les ateliers dont ils ont la responsabilité.

Geanakoplos et Milgrom (1991) procèdent à plusieurs simplifications afin de pouvoir déterminer quels sont les avantages et les inconvénients des différentes organisations hiérarchiques. Premièrement, ils supposent que chaque atelier ne produit qu'un bien et que la pente B de leur fonction de coût est identique. Deuxièmement, ils ne considèrent que les organisations hiérarchiques comportant trois niveaux. Troisièmement, chaque service est composé de n ateliers identiques et les responsables de ces services sont supposés posséder des capacités α identiques.

Dans ce cas, le recrutement d'un plus grand nombre de managers améliore l'allocation des ressources entre les unités de production. En effet, les managers observent un plus petit nombre d'ateliers et disposent d'une information plus précise pour chacun d'entre eux. Traditionnellement, la valeur de l'équipe est mesurée par l'écart entre le coût de l'organisation sans managers et le coût de l'organisation où les managers traitent l'information. Geanakoplos et Milgrom (1991) mesurent la valeur de l'activité du manager M

par l'équation suivante : $V(M) = \frac{(n-1) \cdot B \cdot \beta}{r(n+\beta)}$, avec $\beta = \frac{\alpha \bar{\tau}}{r}$. (6)

Dans cette équation, n représente le nombre d'ateliers dans chaque service, r représente l'inverse de la variance de la variable aléatoire γ et B représente la pente de la fonction de coût des ateliers. Enfin, β représente la capacité du manager à collecter de l'information relativement au paramètre stochastique. Elle dépend de la variance de la variable aléatoire γ , de la capacité α du manager et du temps d'observation $\bar{\tau}$ consacré à l'ensemble des ateliers. Ainsi, la valeur de l'information apportée par le manager dépend de sa capacité, mais aussi des caractéristiques de son environnement.

Geanakoplos et Milgrom (1991) montrent que la taille optimale des services est obtenue par la résolution du problème suivant :
$$\underset{n \geq 1}{\text{Max}} \quad \frac{1}{n} \cdot [V(M) - w] \quad (7)$$

Quand $w \geq \frac{B \cdot \beta}{r}$, la taille optimale des services tend vers l'infini car aucun manager n'est recruté. Dans le cas contraire, la taille optimale des services est définie de la manière suivante :
$$N(K, \beta) = \beta \cdot \frac{1+K}{\beta-K} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\beta-K}{1+K}} \right), \text{ où } K = \frac{wr}{\beta} \quad (8)$$

Ces résultats montrent que la taille optimale des services et que le nombre de managers figurant dans le niveau hiérarchique intermédiaire dépendent de leur capacité de collecte, mais aussi de leur rémunération. Augmenter le salaire du manager par rapport à la valeur marginale de l'information B/r conduit à diminuer le nombre de responsables et fait augmenter la taille des services. Le chapitre suivant contient une analyse détaillée des liens existant entre la taille et la capacité des managers à collecter l'information.

Lors de cette première section, nous avons vu que la rationalité limitée des agents se traduit par la décentralisation de l'information et des décisions. La présence de coûts d'observation, de traitement et de prise de décision engendre des structures d'information et des formes organisationnelles diverses. Cette diversité se retrouve aussi dans les systèmes d'information des entreprises qui permettent de réviser les plans de production à l'aide de mécanismes de coordination hiérarchiques et non hiérarchiques. La section suivante considère un nouvel aspect de la décentralisation en étudiant l'agrégation de l'information comme préalable à la prise des décisions.

II) La décentralisation du traitement de l'information dans les modèles où l'agrégation des données constitue un préalable à la prise des décisions

Dans la théorie des équipes, les coûts d'observation et de communication engendrent une décentralisation de l'information. Les coûts de prise de décision engendrent des formes organisationnelles où les décideurs sont distingués des exécutants. A présent, les activités administratives voient leur existence justifiée par une autre sorte de rationalité limitée concernant la capacité des agents à agréger les données. Durant une période, les agents ne peuvent effectuer qu'un certain nombre d'opérations. Nous verrons dans un premier temps que la décentralisation optimale du traitement de l'information résulte de divers arbitrages entre coûts et gains associés à ce traitement.

Sachant que plusieurs agents sont utilisés pour traiter les données, il est naturel de se demander si leur nombre a une influence sur le gain associé aux décisions prises. Cette question peut également s'appliquer à la manière dont ces activités administratives sont organisées. Par exemple, une organisation pyramidale est-elle préférable à une organisation prenant la forme d'une chaîne de montage ? Nous verrons dans un deuxième temps que l'organisation optimale de l'agrégation des données présente des caractéristiques variées.

A- La décentralisation optimale du traitement de l'information résulte de divers arbitrages entre coûts et gains associés à ce traitement

Dans les modèles où les décisions sont prises par un agent consécutivement à l'agrégation des informations par un groupe d'agents, les activités administratives ont des finalités diverses. Premièrement, quand un agent ne peut lire qu'une donnée en une période, les activités administratives ont pour but de minimiser le délai de traitement des données. Deuxièmement, quand le traitement des données est répété dans le temps, l'objectif des activités administratives est de maximiser la fréquence de traitement pour bénéficier des gains de spécialisation. Troisièmement, quand le traitement des données a pour but d'estimer une variable aléatoire évoluant dans le temps, la précision de l'estimation vient s'ajouter à l'objectif de minimisation du délai.

Néanmoins, la décentralisation du traitement de l'information se heurte à plusieurs limites telles que le coût et le délai de l'agrégation des données. Nous verrons dans un premier temps que le traitement d'une cohorte de données par un groupe d'agents implique un arbitrage entre le coût et le délai de traitement de l'information. Nous verrons dans un deuxième temps que le traitement d'une séquence de cohortes par un réseau stationnaire implique un arbitrage entre les coûts de communication et les gains de spécialisation. Nous verrons dans un troisième temps que le traitement périodique d'échantillons de données permet d'estimer une variable aléatoire évoluant dans le temps et implique un arbitrage entre délai et précision.

1) Le traitement d'une cohorte de données par un groupe d'agents implique un arbitrage entre le coût et le délai de traitement de l'information

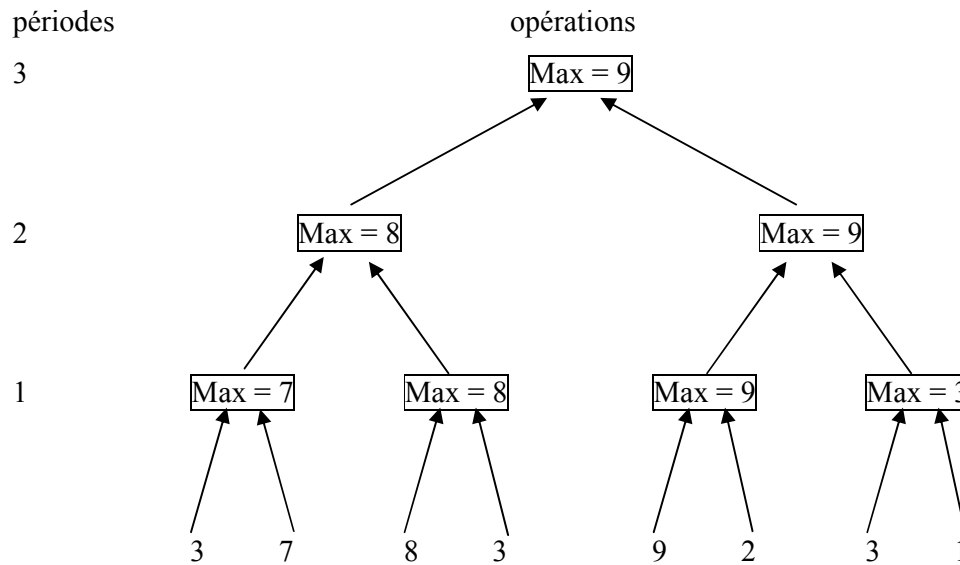
Radner (1993) présente un modèle où des agents à rationalité limitée exercent une activité d'agrégation de l'information. Ces agents sont supposés être limités du point de vue du nombre de données qu'ils sont capables de lire durant une période. Cette limite à la capacité de lecture des agents doit être distinguée de la limite à leur capacité de calcul car elle implique des délais d'agrégation différents. Ainsi, quand un agent dont la capacité de lecture est limitée

à une donnée par période doit agréger 10 données, il a besoin de 10 périodes pour effectuer son travail. Mais quand un agent dont la capacité de calcul est limitée à une opération par période doit agréger 10 données, il a besoin de 9 périodes pour effectuer son travail.

Quand le nombre de données à traiter devient plus grand, leur traitement n'est plus pris en charge par un agent, mais par un groupe. L'objectif des activités administratives est donc de minimiser le délai d'agrégation d'une cohorte de N données. L'organisation du traitement de ces données dépend de la manière dont les délais et les coûts de traitement sont définis. Van Zandt (1998) considère que les agents effectuent une opération par période et qu'ils sont rémunérés en fonction de leur activité. Au contraire, Radner (1993) estime que les agents prennent connaissance d'une donnée par période et qu'ils sont salariés.

Quand les agents effectuent une opération par période et que leur rémunération dépend de leur activité, le coût de traitement de N données correspond aux $N - 1$ opérations nécessaires à leur agrégation. Ce coût est indépendant du nombre d'agents utilisés dans le traitement, ce qui rend trivial le problème de la minimisation du délai. Le délai minimal est obtenu quand le nombre des données est divisé par deux lors de chaque période. Par conséquent, $\lfloor N/2 \rfloor$ agents sont recrutés pour traiter N données dans un délai de $\lceil \log_2 N \rceil$ périodes. Les crochets orientés vers le bas représentent l'arrondi par défaut vers l'entier le plus proche et les crochets orientés vers le haut représentent l'arrondi par excès vers l'entier le plus proche.

Dans le graphique ci-dessous, les carrés ne représentent pas des agents, mais des opérations. En effet, un même agent peut prendre en charge l'opération consistant à rechercher le maximum entre 3 et 7 durant la première période (première opération à gauche sur le graphique) et rechercher le maximum entre 3 et 9 lors de la deuxième période (première opération à droite sur le graphique). Le graphique montre que 7 opérations sont nécessaires pour trouver le maximum d'une série comportant 8 nombres. Ces opérations sont effectuées par 4 agents durant 3 périodes. Les résultats obtenus sont identiques quand ces agents ont pour fonction d'additionner ces nombres.



Graphique 1.4 : Recherche d'un maximum parmi 8 nombres avec un arbre binaire équilibré comportant 4 agents et exécutant 7 opérations en 3 périodes

Mais quand les agents prennent connaissance d'une donnée par période et qu'ils sont salariés, le problème de l'organisation de l'agrégation des N données n'est plus trivial. A présent, le coût du traitement des données dépend du nombre des agents utilisés et il est possible que ce coût soit trop élevé au regard des bénéfices associés à un délai faible. Le choix du nombre d'agents figurant dans les activités administratives est déterminé par un arbitrage entre coût et délai d'agrégation des données. Selon Radner (1993), un réseau est efficace pour un nombre fixé de données quand le nombre d'agents ne peut être diminué sans augmenter le délai (ou vice versa). Le délai minimum pour ajouter N données avec P agents est donné par la formule suivante :

$$\text{Min } C = \lfloor N/P \rfloor + \lceil \log_2(P + N \bmod P) \rceil \quad (9)$$

Le tableau ci-dessous illustre cette formule pour $N = 40$ et P variant entre 1 et 40.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	20	30	40
Min C	40	21	15	12	11	10	9	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7
Efficience	E	E	E	E	E	E	E	E				E					

Tableau 1.1 : Délai minimal et efficience des réseaux traitant 40 données avec un nombre d'agents compris entre 1 et 40

La hiérarchie comportant un seul agent est la plus lente (délai de 40 périodes). Le délai minimum est de 7 périodes et peut être atteint avec 12 agents : un réseau comportant plus de 12 agents n'est pas efficient pour traiter 40 données. De plus, les réseaux de 9, 10 et 11 agents ne sont pas efficaces car un délai de 8 périodes peut être atteint avec 8 agents. L'équation (9) donne le nombre minimum de périodes pour chaque nombre d'agents, mais certaines des paires (P, C) ne sont pas efficaces. Radner (1993) montre que ce phénomène est peu important quand $N = 10\,000$. D'après Radner (1993), la minimisation de la fonction de coût suivante permet d'obtenir un nombre optimal d'agents exprimé en fonction du nombre de données à traiter : $L = \gamma C + \phi P$ (10)

ϕ peut être interprété comme le coût unitaire des agents et γ comme le coût unitaire du délai. Pour N , P et N/P grands, la frontière d'efficience est approximativement : $PC \approx N$. Cette formule illustre de nouveau l'arbitrage entre le nombre d'agents et le délai pour traiter un même nombre de données N . Elle montre également qu'il faut augmenter le nombre d'agents si l'on souhaite traiter plus de données dans le même délai. Enfin, pour un nombre d'agents fixé, l'augmentation du nombre de données à traiter implique l'augmentation du délai.

D'autres représentations de l'activité d'agrégation de l'information sont envisageables et font apparaître de nouveaux éléments dans l'analyse. Quand un réseau stationnaire doit traiter une séquence de cohortes, un arbitrage apparaît entre les coûts de communication et les gains de spécialisation.

2) Le traitement d'une séquence de cohortes par un réseau stationnaire implique un arbitrage entre les coûts de communication et les gains de spécialisation

Le coût de lecture envisagé par Radner (1993) peut être assimilé à un coût de communication supporté par l'agent qui prend connaissance des rapports envoyés par ses subordonnés. Ce coût dépend exclusivement du nombre de messages reçus, mais il est possible de tenir compte du nombre de données initiales contenu dans un rapport. Le coût de communication retenu par

Bolton et Dewatripont (1994) distingue les coûts fixes λ associés à l'existence d'une liaison entre les agents des coûts variables a associés au nombre de données initiales. Ainsi, la lecture d'un rapport contenant m_i données demande $(\lambda + a m_i)$ unités de temps à un agent.

Supposons qu'un agent soit capable de lire une donnée en une unité de temps. S'il envoie cette donnée à un autre agent, celui-ci prend connaissance d'un rapport contenant une donnée initiale en $\lambda + a$ unités de temps. La condition nécessaire à l'existence d'une communication entre les agents est un temps de lecture direct des données supérieur au temps de lecture des rapports intégrant ces données ($1 > \lambda + a$). Bien que le coût de communication soit exprimé en fonction du temps de traitement des données, les activités administratives n'ont pas pour objectif la minimisation du délai.

Bolton et Dewatripont (1994) considèrent une activité d'agrégation de l'information sensiblement différente de celle décrite par Radner (1993). Premièrement, le traitement est périodique car les cohortes de données se succèdent à intervalles réguliers dans le temps. Deuxièmement, le réseau chargé de l'agrégation des données est stationnaire, ce qui rend possible la spécialisation des agents dans le traitement d'un certain type de données. La répétition du traitement dans le temps donne une nouvelle justification au recrutement des agents fondée sur l'existence de gains de spécialisation. Ces gains viennent réduire le coût de communication exprimé en temps de traitement de l'information.

Bolton et Dewatripont (1994) montrent l'existence d'un arbitrage entre les coûts de communication et les gains de spécialisation dans une organisation ayant pour but de maximiser le gain pour chaque cohorte traitée. Quand τ correspond au temps de traitement d'une donnée et sachant qu'une cohorte comportant M données rapporte un gain R , le taux de rendement du flux de données est de $\frac{R}{\tau \cdot M}$, où le dénominateur représente le temps nécessaire au traitement de la cohorte par un agent.

L'objectif de minimisation de ce temps de traitement est équivalent à l'objectif de maximisation de la fréquence de traitement $\frac{1}{\tau \cdot M}$. L'introduction des gains de spécialisation dans le modèle permet de réduire le temps de traitement τ de chaque donnée et justifie le recrutement d'agents spécialisés dans le traitement d'un certain type de données dans la cohorte. Soit x_1 , la fréquence de traitement d'un certain type de données par un seul agent. Le gain de spécialisation est représenté par $\tau(x)$, avec $\tau'(x) < 0$ et $\tau''(x) \geq 0$.

Ces gains de spécialisation rendent possible l'augmentation de la fréquence de traitement quand deux agents traitent une cohorte. Dans ce cas, le premier agent traite m_1 données, l'autre agent traite $(M - m_1)$ données et le premier agent envoie ses données au second. Soit x_2 la fréquence de traitement des nouvelles cohortes qui dépend de la répartition des données à traiter entre les agents. Quand le premier agent doit traiter m_1 données, sa charge de travail est de $\tau(x_2) \cdot m_1$ et celle de l'agent 2 est de $\tau(x_2)(M - m_1 + \lambda + a m_1)$.

Bolton et Dewatripont (1994) montrent que la fréquence de traitement est maximale quand la charge de travail des deux agents est égale.

$$\text{Dans ce cas, on a : } \tau(x_2) \cdot m_1 = \tau(x_2)(M - m_1 + \lambda + a m_1). \quad (11)$$

La synchronisation de l'activité des deux agents leur permet de traiter une nouvelle cohorte toutes les $\tau(x_2) \cdot m_1$ périodes. Durant cet intervalle de temps, l'agent 1 traite m_1 données dans la cohorte t , envoie son rapport à l'agent 2 et commence à traiter la cohorte $t + 1$. L'agent 2 utilise $\tau(x_2)(\lambda + a m_1)$ périodes pour lire le rapport de l'agent 1 sur la cohorte $t - 1$, puis traite les $M - m_1$ données de la cohorte t , ce qui demande un temps total de $\tau(x_2) \cdot m_1$. Quand l'agent 2 a achevé le traitement de la cohorte t , il lit le rapport de l'agent 1 sur cette dernière etc.

Quand une cohorte de M données est traitée par deux agents, le temps total de travail par cohorte est de $\tau(x_2)(M + \lambda + a m_1)$. Ce temps total de travail est de $\tau(x_1) \cdot M$ quand un seul agent traite la cohorte. Deux agents sont utilisés pour agréger les données quand les gains de spécialisation sont supérieurs aux coûts de communication. Autrement dit, la délégation du traitement des données intervient quand le temps total de travail par cohorte avec un agent est supérieur au temps total de travail par cohorte avec deux agents. Formellement :

$$\tau(x_1) \cdot M > \tau(x_2)(M + \lambda + a m_1) \quad (12)$$

Pour exploiter pleinement les gains de spécialisation, le traitement des M données de la cohorte doit être pris en charge par plus de deux agents. Le raisonnement ci-dessus peut être étendu à un nombre quelconque d'agents. Leur nombre est optimal quand le temps total de traitement de la cohorte est minimisé compte tenu des gains de spécialisation et des coûts de communication. La question du type de structure de communication à mettre en place pour profiter au mieux des gains de spécialisation sera envisagée plus loin dans ce chapitre.

Bolton et Dewatripont (1994) ont donc montré que le traitement d'une cohorte de données par un groupe d'agents se justifie par la présence de gains de spécialisation. Ils mettent en évidence un arbitrage entre ces gains de spécialisation et les coûts de communication issus de

la capacité de calcul limitée des agents. La décentralisation du traitement de l'information a un objectif distinct de la minimisation du délai considérée par Radner (1993). Mais d'autres objectifs sont envisageables en cas de traitement périodique d'échantillons de données. Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) mettent en évidence l'existence d'un arbitrage entre le délai et la précision lors de l'estimation d'une variable aléatoire évoluant dans le temps.

3) *Le traitement périodique d'échantillons de données permet d'estimer une variable aléatoire évoluant dans le temps et implique un arbitrage entre délai et précision*

Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) intègrent l'incertitude de la théorie des équipes dans les modèles où les décisions sont prises après l'agrégation d'une certaine quantité de données. Dans leur modèle, une entreprise en monopole cherche à maximiser son profit en vendant un nouveau produit dont les caractéristiques sont aussi proches que possible des préférences des consommateurs. Ces préférences sont représentées par une variable aléatoire μ qui est observée de manière imparfaite par le monopoleur et qui évolue dans le temps.

L'entreprise commet une erreur quand elle observe les préférences d'un consommateur i . Soit y_i , l'observation de l'entreprise effectuée avec une erreur ξ_i . D'après Meagher, Orbay et Van Zandt (2002), l'erreur suit une loi normale et sa variance est représentée par σ_y^2 . La variance de l'erreur d'observation mesure la dispersion des préférences des consommateurs.

$$\text{Formellement : } y_{it} = \mu_t + \zeta_{it}, \text{ avec } \zeta_{it} \sim N(0, \sigma_y^2) \quad (13)$$

De plus, l'évolution des préférences dans le temps est représentée par un mouvement brownien où σ_e mesure le degré de volatilité de l'environnement.

L'entreprise s'efforce d'estimer les préférences des consommateurs en prélevant un échantillon de n données lors de la période 0. Soit $t = L\tau$, le nombre de périodes nécessaire à l'agrégation des n données par des agents dont la capacité de traitement est de τ . Le fait de traiter un grand nombre de données permet à l'entreprise de diminuer la variance de l'erreur d'estimation et de fournir aux consommateurs un produit adapté à leurs goûts. Néanmoins, les préférences des consommateurs évoluent dans le temps et quand le nombre de données traitées est trop grand, le produit proposé risque d'être éloigné des préférences actuelles.

L'agrégation de n données par les agents donne une estimation empirique $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ des préférences des consommateurs à la date 0. Conditionnellement à cette estimation \bar{y} , la

distribution des préférences initiales suit une loi normale : $\mu_0 | \bar{y} \sim N\left(\bar{y}, \frac{\sigma_y^2}{n}\right)$. Selon Meagher,

Orbay et Van Zandt (2002), les préférences des consommateurs à la date $t = L\tau$ sont liées aux préférences à la date 0 par l'expression suivante : $\mu_{L\tau} = \mu_0 + e$, où $e \sim N(0, L\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2)$.

Conditionnellement à l'estimation \bar{y} , la distribution des préférences ultérieures suit une loi normale : $\mu_{L\tau} | \bar{y} \sim N\left(\bar{y}, \frac{\sigma_y^2}{n} + L\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2\right)$ (14)

Quand les agents chargés de l'agrégation des n données ne sont pas rémunérés, l'entreprise choisit son prix p^* de manière à maximiser son revenu. Ce revenu maximal R^* dépend de la variance totale $V(n)$: quand cette variance est forte, les préférences des consommateurs sont fortement dispersées et le revenu maximal tend vers 0. Au contraire, quand la variance tend vers 0, la firme offre un produit parfaitement adapté aux préférences du consommateur et adopte un comportement de discrimination parfaite par les prix. Son revenu maximal correspond à la disposition à payer du consommateur mesurée par le paramètre a .

Le monopole choisit le nombre de données à traiter de manière à maximiser son revenu maximal $R^*[V(n)^{-1/2}]$, ce qui revient à minimiser la variance totale $V(n)$. Celle-ci correspond à la somme de la variance de la distribution des préférences ultérieures et de la variance véritable des préférences des consommateurs.

$$\text{Formellement : } V(n) = \frac{\sigma_y^2}{n} + L\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 + \sigma_y^2 = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + L\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 \quad (15)$$

Le choix du nombre optimal de données à traiter est donc issu d'un arbitrage entre la précision de l'estimation des préférences des consommateurs et le délai nécessaire pour obtenir cette estimation. Quand n est grand, l'estimation des préférences des consommateurs est plus précise car $\frac{\sigma_y^2}{n}$ diminue, mais le délai L est important. Nous avons vu précédemment

que le délai de traitement de n données est de $L = \lceil \log_2 n \rceil$ quand les agents ont une capacité de calcul limitée à une opération par période. Le calcul de la taille optimale des activités administratives est envisagé plus loin dans ce chapitre pour différentes mesures du délai et en présence de coûts salariaux.

La décentralisation du traitement de l'information résulte donc de divers arbitrages entre coûts et gains associés à ce traitement. Les activités administratives comportent donc un nombre

limité d'agents et il reste à déterminer comment ces activités sont organisées. Nous allons voir que l'organisation optimale de l'agrégation des données présente des caractéristiques variées.

B- L'organisation optimale de l'agrégation des données présente des caractéristiques variées

Quand le traitement d'une ou de plusieurs cohortes de données est pris en charge par des agents dont la rationalité est limitée, il est naturel de se demander s'il existe une limite au nombre de ces agents. La question de la nature des rendements d'échelle associés aux activités administratives est l'objet d'un débat ancien entre les économistes. Beckmann (1960) estime que la taille des activités administratives est infinie alors que Williamson (1967) affirme qu'elle est limitée par le phénomène de perte de contrôle. Nous avons vu auparavant que l'arbitrage entre les gains et les coûts associés à l'agrégation de l'information implique le recrutement d'un nombre fini d'agents administratifs.

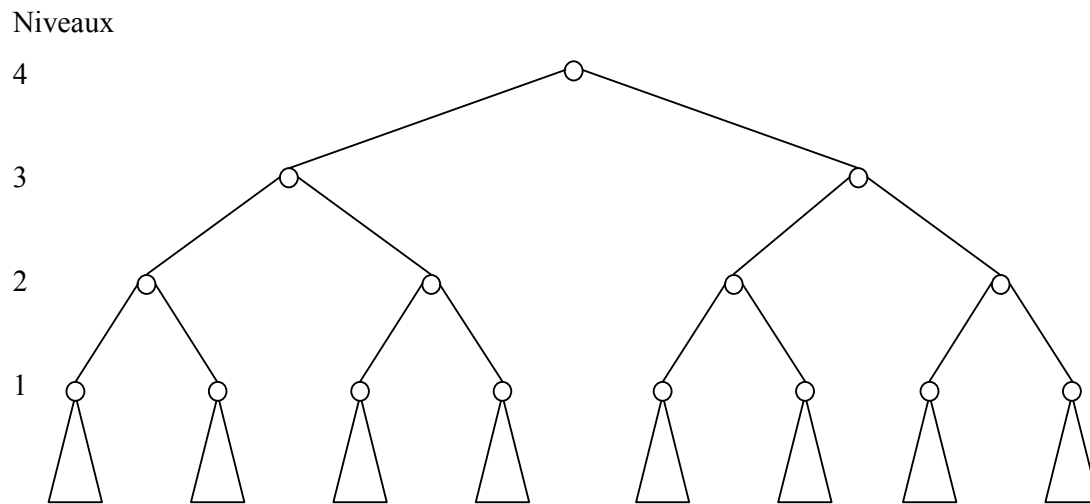
Néanmoins, cet arbitrage ne donne aucune indication quant à la forme prise par la structure optimale des activités administratives. Or, le design optimal des activités administratives présente des caractéristiques variées. Nous verrons dans un premier temps que le réseau optimal pour agréger une cohorte de données est irrégulier. Nous verrons dans un deuxième temps que le réseau stationnaire optimal pour agréger une séquence de cohortes est une hiérarchie régulière ou une chaîne de montage. Nous verrons dans un troisième temps que le réseau chargé du traitement périodique d'échantillons de données est caractérisé par sa taille optimale.

1) *Le réseau optimal pour agréger une cohorte de données est irrégulier*

Radner (1993) estime qu'une organisation est efficiente quand il n'est pas possible de réduire le délai sans augmenter le nombre d'agents ou de réduire le nombre d'agents sans faire augmenter le délai. Quand la capacité de traitement d'un agent est d'une donnée par période, le délai minimal d'agrégation de N données avec P agents est déterminé par l'équation suivante :
$$\min C = \lfloor N/P \rfloor + \lceil \log_2 (P + N \bmod P) \rceil \quad (16)$$

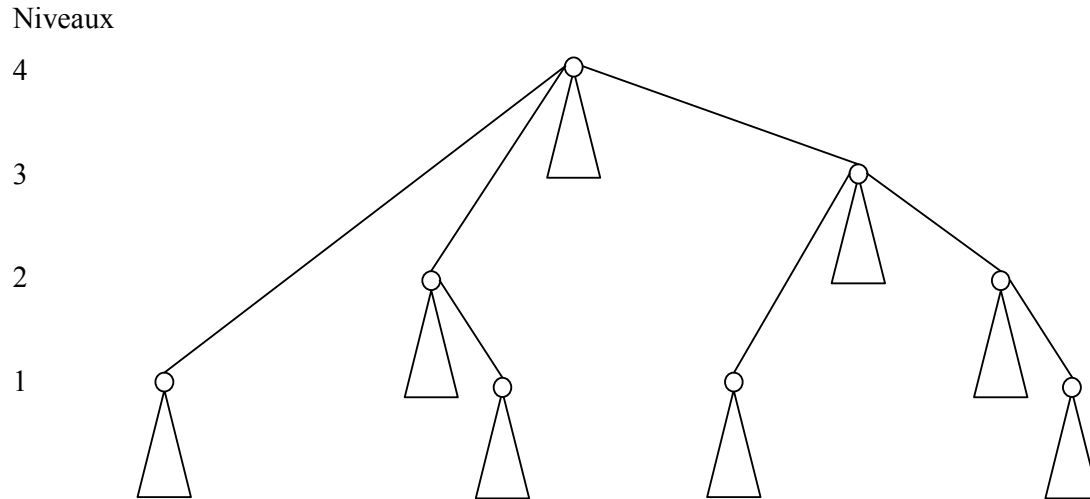
Nous avons vu que l'application de cette formule au traitement d'une cohorte de 40 données par un nombre d'agents compris entre 1 et 40 met en évidence plusieurs organisations efficientes des activités administratives. D'après le tableau 1.1, l'organisation réduite à un agent traitant les données en 40 périodes est efficiente au même titre que celle utilisant 8 agents pour traiter les données en 8 périodes.

Cependant, ce tableau ne donne aucune indication sur la forme de ces structures optimales quand elles comportent plusieurs agents. Radner (1993) montre que la hiérarchie régulière à quatre niveaux où chaque agent a deux subordonnés n'est pas efficace pour traiter 40 données. En supposant que les 8 agents constituant la base de la hiérarchie traitent chacun 5 données, les 15 agents agrègent 40 données en 11 périodes. Dans le graphique ci-dessous, les ronds figurent des agents, les traits représentent les canaux de communication entre ces agents et les triangles correspondent à cinq données initiales.



Graphique 1.5 : Hiérarchie régulière traitant 40 données en 11 périodes avec 15 agents

Dans cette structure, le nombre d'agents et le délai peuvent être réduits en supprimant la moitié des agents dans chaque niveau et en confiant leur travail à leur supérieur hiérarchique. Radner (1993) obtient la structure irrégulière représentée par le graphique 1.6 où les agents des niveaux 3 et 4 ont un subordonné dans chacun des niveaux qui leurs sont inférieurs. Les 40 données sont agrégées en 8 périodes par 8 agents, ce qui correspond bien à l'une des structures efficaces mises en évidence par le tableau 1.1.



Graphique 1.6 : hiérarchie irrégulière traitant 40 données en 8 périodes avec 8 agents

Radner (1993) se limite à ce seul exemple, mais la hiérarchie efficace pour traiter 40 données en 7 périodes avec 12 agents est elle aussi irrégulière. Bien que ces structures irrégulières soient efficaces, Radner (1993) estime que leur utilisation est assez peu répandue en pratique. Il s'efforce d'expliquer pourquoi les hiérarchies régulières leur sont préférées en comparant les délais obtenus quand le nombre de données à traiter est très grand. Le « réseau PPT » (Pre Processing Tree) constitue un cas particulier de hiérarchie équilibrée où chaque agent d'un même niveau est en relation avec un nombre identique de subordonnés. Dans ce réseau, pour N donné, il n'existe que deux paramètres : p_1 , le nombre des agents du premier niveau et K , le nombre de subordonnés immédiats, identique pour les niveaux $r \geq 2$. Tout comme dans le cas d'une hiérarchie irrégulière, il est possible de déterminer une frontière d'efficacité contenant les couples (P, C) optimaux. De nouveau, cette frontière est obtenue en minimisant le coût : $L = \gamma C + \phi P$. (17)

Radner (1993) montre que les réseaux PPT appartenant à cette frontière d'efficacité sont asymptotiquement aussi optimaux que les hiérarchies irrégulières. Quand N tend vers l'infini,

le pourcentage de perte dû à l'utilisation des PPT optimaux tend vers 0 comme on le voit dans le tableau ci-dessous.

N	10^4	10^6	10^8	10^{10}
P	10^2	10^3	10^4	10^5
C	107	1010	10014	100017
C_{PPT}	131	1095	10294	100922
K	10	27	79	242
C_{PPT} / C	1,224	1,084	1,028	1,009

Tableau 1.2 : Comparaison des délais asymptotiques pour les réseaux PPT et les hiérarchies irrégulières

Ainsi, l'augmentation de la quantité des données à traiter réduit l'inefficience relative de la hiérarchie régulière au regard de la hiérarchie irrégulière. Radner (1993) considère également le traitement d'une séquence de cohortes de données plutôt que le traitement d'une seule cohorte. Selon lui, le « réseau PPO » (pre processing overhead) dont les caractéristiques sont semblables au réseau PPT donne un résultat proche de celui du réseau efficient pour assurer le traitement séquentiel. Malheureusement, l'inefficience relative du réseau PPO augmente avec le nombre d'agents dans la structure.

Radner (1993) ne trouve donc pas de justification théorique à l'utilisation des hiérarchies régulières. Néanmoins, le design optimal des activités administratives se manifeste sous d'autres formes que ces structures régulières ou irrégulières. Bolton et Dewatripont (1994) montrent que le réseau stationnaire optimal pour agréger une séquence de cohortes est une hiérarchie régulière ou une chaîne de montage.

2) Le réseau stationnaire optimal pour agréger une séquence de cohortes est une hiérarchie régulière ou une chaîne de montage

Chez Bolton et Dewatripont (1994), la taille optimale des activités administratives résulte de l'arbitrage entre les gains de spécialisation et les coûts de communication. L'objectif de l'organisation est de maximiser le gain associé au traitement des cohortes successives ou de minimiser le temps de traitement des données en égalisant la charge de travail des agents. La manière dont est conçue la communication entre les agents permet d'augmenter la fréquence de traitement des cohortes (gain de spécialisation) ou de réduire les coûts de communication.

Bolton et Dewatripont (1994) montrent que les réseaux stationnaires efficaces pour agréger une série de cohortes contenant M données ont des caractéristiques différentes des réseaux optimaux de Radner (1993). Chaque agent dans le réseau n'envoie ses résultats qu'à un seul autre agent dans le but de limiter les coûts de communication. Les réseaux efficaces sont hiérarchiques, mais ils ont une structure beaucoup moins irrégulière que les réseaux décrits par Radner (1993). Cette irrégularité moindre résulte selon les auteurs de la spécialisation des agents dans le traitement des données ou dans la lecture des rapports.

Le problème de configuration du réseau consiste à obtenir la maximisation de la fréquence de traitement tout en minimisant les coûts de communication. Bolton et Dewatripont (1994) mettent en évidence deux principes d'organisation des réseaux efficaces. Premièrement, dans une organisation efficace, le nombre moyen d'agents par lequel transite chaque donnée est minimisé dans le but de réduire les coûts variables de communication. Deuxièmement, dans une organisation efficace, le nombre de liens de communication est minimal. Il n'est pas possible de supprimer un de ces liens sans dégrader la performance de l'organisation.

Bolton et Dewatripont (1994) comparent les gains de spécialisation et les coûts de communication associés à deux sortes d'organisations hiérarchiques : la pyramide régulière et la chaîne de montage. Dans la pyramide régulière chaque agent est en relation avec n subordonnés. De plus, cette pyramide est supposée comporter H niveaux hiérarchiques au-dessus d'un niveau 0 où les agents se spécialisent dans le traitement d'une seule donnée. Sachant que la cohorte à traiter comporte M données et que le niveau 0 comporte n^H agents, on a : $M = n^H$.

Bolton et Dewatripont (1994) définissent la chaîne de montage de la manière suivante. « Une chaîne de montage est un réseau pyramidal tel que tous les agents traitent le même nombre de données et où il n'existe qu'un seul agent dans chaque couche ». Chaque agent y traite également une donnée, mais $M - 1$ agents traitent également le rapport envoyé par leur subordonné. Les auteurs procèdent à une comparaison des performances de la chaîne de montage et de la pyramide régulière lorsque les agents sont spécialisés dans le traitement d'une donnée.

Lorsque les coûts variables de communication n'existent pas ($a = 0$), le choix de l'une de ces deux structures repose sur la comparaison des gains de spécialisation et des coûts de communication. Dans la chaîne de montage, $M - 1$ agents traitent une donnée et lisent un rapport ce qui implique un gain de spécialisation moins important que dans la pyramide régulière. Dans cette dernière, les n^H agents du niveau 0 traitent chacun une seule donnée, mais les coûts de communication entre ce niveau et les H niveaux supérieurs sont beaucoup

plus forts que dans la chaîne de montage. Cette dernière est choisie quand l'économie sur les coûts de communication est supérieure à la perte associée à une spécialisation moins poussée. Lorsque les coûts variables de communication existent ($a > 0$), la chaîne de montage présente un nouveau défaut par rapport à la pyramide régulière. Elle implique un plus grand nombre de transferts des mêmes données entre les agents avant d'atteindre le sommet. La charge de travail du sommet hiérarchique devient donc plus importante que celle de l'agent chargé de lire le premier rapport.

La prise en compte des gains de spécialisation par Bolton et Dewatripont (1994) donne des résultats originaux quant au design optimal des activités administratives. D'une part, ces gains de spécialisation rendent les réseaux irréguliers décrits par Radner (1993) incompatibles avec l'efficacité. D'autre part, ces gains de spécialisation rendent la hiérarchie régulière préférable à la chaîne de montage bien que cette dernière structure comporte un plus petit nombre de liens entre les agents.

Enfin, le design optimal des activités administratives ne limite pas à la structure organisationnelle. Dans le cas du traitement périodique d'échantillons de données étudié par Meagher, Orbay et Van Zandt (2002), le design optimal s'applique au nombre de données agrégées et au nombre d'agents présents dans le réseau.

3) Le réseau chargé du traitement périodique d'échantillons de données est caractérisé par sa taille optimale

Quand une entreprise évalue périodiquement les préférences des consommateurs en constituant des échantillons d'observations imparfaites, il existe un arbitrage entre la précision et le délai du traitement. Nous avons vu qu'en l'absence de rémunération des agents, l'entreprise maximise son revenu en minimisant la variance totale

$V(n) = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + L\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2$. Dans cette expression, σ_y^2 représente la dispersion des préférences des consommateurs, σ_ε^2 représente la volatilité des préférences des consommateurs, n représente le nombre de données agrégées, L représente le délai et τ la capacité de traitement des agents.

Plusieurs mesures du délai sont envisageables suivant la manière dont est définie la rationalité limitée des agents. Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) estiment que les agents ont une capacité de calcul limitée à une opération par période. De plus, ils supposent que ces agents sont payés en fonction de leur activité. Le coût de traitement est donc égal au $n - 1$ opérations

nécessaires pour agréger n données et est indépendant du nombre d'agents utilisés. Par conséquent, $\lfloor N/2 \rfloor$ agents sont recrutés pour traiter N données dans un délai de $\lceil \log_2 N \rceil$

périodes. La variance totale devient : $V(n) = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + \lceil \log_2 n \rceil \cdot \sigma_\varepsilon^2$ (18)

Dans une version remaniée de leur article de 2002, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) estiment que les agents ont une capacité de lecture limitée à une donnée par période. De plus, ils supposent que le coût de traitement dépend du nombre de données lues, mais aussi de la capacité de traitement τ . D'après Radner (1993), quand le nombre d'agents est une puissance de deux, le délai de lecture de N donnée par P agents est de $\frac{N}{P} + \log_2 P$ périodes. Quand les agents sont rémunérés en fonction de leur activité, $\lfloor N/2 \rfloor$ agents sont recrutés pour traiter N données dans un délai de $1 + \lceil \log_2 N \rceil$ périodes.

Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) donnent une formule proche de celle de Radner (1993) pour déterminer le délai d'agrégation des n données. Selon eux, le délai est de $\tau(\alpha + \log n)$ périodes, où τ représente le nombre de périodes nécessaire à la lecture d'une donnée. La variance totale devient : $V(n) = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + \tau \cdot (\alpha + \log n) \cdot \sigma_\varepsilon^2$ (19)

En l'absence de rémunération des agents, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) montrent que le nombre optimal de données à traiter pour maximiser le revenu de l'entreprise est celui qui minimise la variance totale $V(n)$.

$$V'(n) = 0 \Leftrightarrow -\frac{\sigma_y^2}{n^2} + \frac{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}{n \ln 2} = 0 \Leftrightarrow n \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 = \ln 2 \cdot \sigma_y^2 \Leftrightarrow n^* = \frac{\ln 2 \cdot \sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2} \quad (20)$$

Sachant que le nombre d'agents est égal à la moitié du nombre de données, on en déduit que la taille optimale des activités administratives dépend de trois facteurs. La taille optimale dépend de la dispersion des préférences des consommateurs σ_y^2 , de la volatilité de leurs préférences σ_ε^2 et de la capacité de traitement des agents τ .

Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) obtiennent un résultat légèrement différent. De nouveau, le nombre optimal de données à traiter pour maximiser le revenu de l'entreprise est celui qui minimise la variance totale $V(n)$.

$$V'(n) = 0 \Leftrightarrow -\frac{\sigma_y^2}{n^2} + \frac{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}{n} = 0 \Leftrightarrow n \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 = \sigma_y^2 \Leftrightarrow n^* = \frac{\sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2} \quad (21)$$

La principale différence avec la version précédente de leur article réside dans leur définition de la taille optimale des activités administratives. Selon eux, le nombre des agents utilisés n'est plus égal à la moitié du nombre des données à agréger. Il dépend également de la capacité de traitement τ des agents car une amélioration de cette capacité de traitement permet d'agréger le même nombre de données avec un plus petit nombre d'agents. La taille optimale des activités administratives se définit donc de la manière suivante : $\tau \cdot n^* = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}$ (22)

A présent, la taille optimale des activités administratives dépend uniquement de la dispersion des préférences des consommateurs σ_y^2 et de la volatilité de leurs préférences σ_ε^2 . L'évolution du nombre optimal de données à traiter et de la taille optimale des activités administratives en fonction de ces différents paramètres sera considérée lors du chapitre suivant.

Quand les coûts de traitement de l'information sont pris en compte, l'entreprise maximise son profit et non plus son revenu. Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) supposent que les agents sont dotés d'une capacité de calcul limitée à une opération par période. Le profit s'écrit de la manière suivante : $\Pi(n) = R * \left[V(n)^{-1/2} \right] - w \cdot (n-1)$ (23)

Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) supposent que les agents sont dotés d'une capacité de lecture limitée à une donnée pour τ périodes. De plus, la rémunération des agents est d'autant plus grande que le nombre de périodes τ nécessaire à la lecture d'une donnée est important.

Le profit s'écrit de la manière suivante : $\Pi(n) = R * \left[V(n)^{-1/2} \right] - w \cdot \tau \cdot n$ (24)

Dans chaque cas, la maximisation du profit ne correspond plus à la minimisation de la variance totale. Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) montrent que la taille optimale des activités administratives diminue quand le salaire augmente. Par conséquent, la taille optimale maximale est celle obtenue quand les agents ne sont pas rémunérés. Elle est égale au rapport

de la dispersion et de la volatilité des préférences : $\frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}$ (25)

L'évolution de la taille optimale des activités administratives en fonction de la volatilité, de la dispersion et de la capacité de traitement des agents est étudiée lors du chapitre suivant.

L'organisation optimale de l'agrégation des données se caractérise donc par une certaine variété. Premièrement, Radner (1993) montre que le réseau optimal pour agréger une cohorte de données est irrégulier. Deuxièmement, Bolton et Dewatripont (1994) distinguent deux réseaux stationnaires optimaux pour agréger une séquence de cohortes : la hiérarchie régulière

ou la chaîne de montage. Troisièmement, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) s'intéressent à la taille optimale des activités administratives plutôt qu'à leur structure lors du traitement périodique d'un échantillon de données.

Cette variété de l'organisation optimale résulte de divers arbitrages entre coûts et gains associés au traitement de l'information. Premièrement, le traitement d'une cohorte de données envisagé par Radner (1993) implique un arbitrage entre le coût et le délai. Deuxièmement, le traitement d'une séquence de cohortes par un réseau stationnaire considéré par Bolton et Dewatripont (1994) implique un arbitrage entre les coûts de communication et les gains de spécialisation. Troisièmement, le traitement périodique d'un échantillon de données étudié par Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) implique un arbitrage entre le délai et la précision de l'estimation des préférences des consommateurs.

CONCLUSION DU CHAPITRE 1

Ce premier chapitre a montré la diversité des caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives. Celles-ci regroupent des agents à rationalité limitée et ayant un même objectif en commun. Les modèles où le traitement de l'information est effectué par de tels agents sont nombreux. Notre but étant de mettre en évidence de nouveaux aspects dans les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience, nous avons ignoré plusieurs de ces modèles pour nous intéresser à la théorie des équipes et aux modèles d'agrégation de l'information s'inspirant de cette théorie.

La première section de ce chapitre a traité de la décentralisation de l'information et des décisions dans la théorie des équipes. La rationalité limitée des agents engendre diverses structures d'information et de diverses formes organisationnelles. L'organisation optimale de l'équipe est celle qui maximise le gain associé aux décisions net des coûts d'observation, de communication et de prise de décision. La théorie des équipes a été utilisée de manière plus concrète pour étudier l'adaptation des plans de production en situation d'incertitude. D'une part, diverses structures d'information horizontales et verticales permettent l'ajustement à court terme du processus de production. D'autre part, les objectifs de production peuvent être décomposés dans une hiérarchie quand un agent les ventile entre ses différents subordonnés.

La deuxième section de ce chapitre a traité de la décentralisation du traitement de l'information dans les modèles représentant l'agrégation des données. L'organisation optimale des activités administratives résulte de divers arbitrages entre le coût et le délai, entre les coûts de communication et les gains de spécialisation et entre la rapidité et la précision du traitement. L'organisation optimale prend des formes différentes suivant le modèle d'agrégation étudié. Le réseau optimal pour traiter une cohorte est irrégulier, le réseau stationnaire optimal pour traiter une série de cohortes est une hiérarchie régulière ou une chaîne de montage. Enfin, le réseau traitant périodiquement des échantillons de données est doté d'une taille optimale.

Le chapitre suivant poursuit l'analyse économique des activités administratives en donnant une description détaillée de l'évolution des différentes caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives.

CHAPITRE 2 : L'EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DE L'ORGANISATION OPTIMALE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES

Le chapitre 1 a permis de mettre en évidence la variété des caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives. Dans la théorie des équipes, divers mécanismes de coordination ont été envisagés dans le but d'adapter les plans de production aux aléas affectant les ateliers. Dans les modèles d'agrégation de l'information, plusieurs sortes d'organisations optimales des activités administratives ont été mises en évidence. Suivant les cas, l'organisation optimale peut être irrégulière, régulière ou bien prendre la forme d'une chaîne de montage.

Bien que les caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives soient diverses, elles ont pour point commun d'évoluer en fonction de facteurs de contingence. Lors de ce chapitre, nous allons voir que des facteurs similaires affectent l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes ainsi que la taille optimale dans les modèles représentant l'agrégation de l'information. Ainsi, l'évolution de l'environnement des entreprises et l'amélioration de la capacité de traitement des agents affectent l'organisation optimale des activités administratives.

Nous étudierons dans un premier temps les facteurs d'évolution de l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes. Nous étudierons dans un deuxième temps les facteurs d'évolution de la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information. Nous verrons dans un troisième temps que la théorie des équipes et les modèles d'agrégation de l'information offrent une analyse incomplète de l'informatisation des activités administratives.

I) Les facteurs d'évolution de l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes

Nous avons vu lors du chapitre précédent que la théorie des équipes envisage diverses formes organisationnelles dont le but est d'adapter les plans de production aux chocs affectant les ateliers. Ces chocs ont une influence sur la valeur du traitement de l'information et peuvent impliquer le choix d'une nouvelle forme organisationnelle. Nous étudierons dans un premier temps la manière dont l'incertitude de l'environnement des entreprises fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives.

Dans la théorie des équipes, des facteurs tels que la précision lors de l'identification des chocs ou la capacité à collecter l'information sont décisifs pour choisir entre les différents modes de

coordination. Ces facteurs dépendent des compétences propres aux agents ainsi que des technologies qui sont à leur disposition. Nous étudierons dans un deuxième temps la manière dont l'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives.

A- L'incertitude de l'environnement des entreprises fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes

Dans la théorie des équipes, plusieurs conceptions de l'incertitude de l'environnement des entreprises sont envisageables. D'une part, il est possible de s'intéresser à la volatilité de l'environnement qui est d'autant plus forte que l'identification des chocs passés aide peu à l'identification des chocs à venir. Les conséquences de la volatilité de l'environnement sur la structure optimale des activités administratives ont été envisagées par Aoki (1986, 1990). Nous verrons dans un premier temps que la volatilité de l'environnement favorise les structures d'information horizontales mais qu'elle fait également diminuer le temps optimal d'apprentissage des ateliers.

D'autre part, il est possible de considérer que des chocs dont la variance est plus ou moins grande affectent les conditions de production d'une entreprise. Aoki (1990), puis Geanakoplos et Milgrom (1991) étudient les formes organisationnelles les plus adaptées pour minimiser le coût engendré par l'incertitude affectant les ateliers. Nous verrons dans un deuxième temps que la variance des aléas fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers et fait augmenter le nombre optimal des managers responsables des ateliers.

1) La volatilité de l'environnement favorise les structures d'information horizontales, mais elle fait diminuer le temps optimal d'apprentissage des ateliers

Aoki (1986) considère une entreprise composée de n ateliers dont la production est affectée par un choc dont l'espérance et la variance sont connus. Les chocs qui interviennent lors de périodes successives sont liés par un processus autorégressif d'ordre 1. Dans ce processus, le paramètre h reflète le degré de volatilité de l'environnement. Quand h est fort, les aléas passés ont peu de lien avec les aléas futurs et la volatilité de l'environnement est importante. L'auteur montre que le degré de volatilité de l'environnement a une influence sur le choix d'une structure d'information horizontale ou d'une structure d'information verticale.

Aoki (1986) envisage deux sortes de structures d'information verticales et deux sortes de structures d'information horizontales. Dans les premières, les décisions d'ajustement de la production sont prises par le centre en s'appuyant sur une observation imparfaite (contrôle à

rationalité limitée) ou bien en pondérant cette estimation avec l'espérance des aléas. Dans les secondes, les ateliers décident à l'aide de leurs observations sans communiquer entre eux (coordination quasi horizontale) ou bien décident après avoir procédé à une communication bilatérale (coordination horizontale imparfaite).

Aoki (1986) estime que le coût de la coordination quasi horizontale est inférieur à celui de la coordination verticale fondée sur une observation imparfaite quand la condition suivante est

$$\text{satisfaite : } \frac{\exp^{-2h\Delta}}{1+\gamma} < \theta\beta^{-\theta}v(\theta, \beta) \quad (1)$$

Dans cette équation, h représente la volatilité de l'environnement, Δ représente le temps nécessaire à la hiérarchie pour s'adapter aux aléas, γ représente le degré d'imprécision de l'observation du centre, β représente l'inverse de la capacité initiale d'identification des problèmes par les ateliers, θ représente le rapport du coefficient d'actualisation δ et du taux d'apprentissage k , v est une fonction gamma.

De même, le coût de la coordination horizontale imparfaite est inférieur à celui de la coordination verticale fondée sur une observation imparfaite quand la condition suivante est

$$\text{satisfaite : } \frac{\exp^{-2h\Delta}}{1+\gamma} < \theta\beta^{-\theta}v(\theta, \beta)\eta(B) \quad (2)$$

Dans cette équation, $\eta(B)$ représente l'efficienne relative de la coordination horizontale imparfaite par rapport à la coordination parfaite.

Une augmentation de la volatilité de l'environnement mesurée par une augmentation de h fait baisser la valeur du terme de gauche dans les deux équations ci-dessus. Par conséquent, la volatilité accrue de l'environnement rend la coordination quasi horizontale moins coûteuse que la coordination verticale. Un résultat identique est obtenu quand la coordination verticale est comparée à la coordination horizontale imparfaite.

La comparaison du modèle routinier et du modèle de participation donne des résultats quelque peu différents. Selon Aoki (1990), la volatilité ρ des aléas sur les coûts influence l'investissement des ateliers dans une capacité à traiter de l'information t_1 qui est propre au modèle de participation. La précision $h(t)$ des ateliers dans l'observation des chocs est assimilée par Aoki (1990) à une loi de Gompertz. Elle est d'autant plus grande que le temps t_1 consacré à observer les chocs est important.

Aoki (1990) montre que la valeur du traitement de l'information par les ateliers dépend du temps t_1 consacré à observer les chocs.

$$\text{Ainsi : } V(t_1) = \sum_i \alpha_i(t_1) \cdot \bar{V}_i, \text{ où } \alpha_i(t_1) = \frac{h(t_1)}{h(t_1) + \frac{1}{\sigma_i^2}} \cdot \exp^{-\rho T}. \quad (3)$$

Dans cette dernière équation, T représente le temps total disponible pour observer, communiquer et produire. σ_i^2 représente la variance des aléas affectant la production des ateliers. Quand la volatilité ρ des aléas sur les coûts augmente, la valeur de $\alpha_i(t_1)$ diminue et la valeur du traitement de l'information diminue. Selon Aoki (1990), l'augmentation de la volatilité des aléas fait diminuer le temps optimal d'apprentissage des ateliers.

Dans la discussion des résultats de son modèle, Aoki(1990) affirme qu'une volatilité excessive de l'environnement rend négative la rente informationnelle issue de l'apprentissage des ateliers. Il associe ce résultat à celui obtenu par Itoh (1987) selon qui le développement de compétences spécialisées au niveau des ateliers est profitable quand l'environnement est très stable ou très volatil. Au contraire, quand la volatilité de l'environnement est plus mesurée, il est préférable que les ateliers possèdent des compétences plus générales.

Néanmoins, Aoki (1990) ne fait pas état des conséquences d'une forte volatilité de l'environnement sur le mode de coordination utilisé. Quand la rente informationnelle issue de l'apprentissage des ateliers devient négative, la coordination repose sur le modèle routinier. En effet, la hiérarchie n'a pas assez de temps pour prendre connaissance des informations disponibles au niveau des ateliers. Or, Aoki (1986) obtient un résultat bien différent : la volatilité accrue de l'environnement rend la coordination quasi horizontale ou la coordination horizontale imparfaite plus efficace que la coordination verticale.

Ces différents résultats montrent le principal défaut de ces modèles d'ailleurs mentionné ultérieurement par Aoki (1996) : leur caractère ad hoc. Aoki (1990) considère ensuite les conséquences de la variance des aléas σ_i^2 sur le temps d'apprentissage des ateliers. La variance des aléas est également présente dans le modèle de Geanakoplos et Milgrom (1991). Nous allons voir que cette variable fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers et qu'elle fait augmenter le nombre optimal des managers responsables des ateliers.

2) La variance des aléas fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers et fait augmenter le nombre optimal des managers responsables des ateliers

Aoki (1990) introduit une nouvelle dimension de l'incertitude en considérant la variance des aléas σ_i^2 affectant la production des ateliers. Dans le modèle de participation, cette variable va déterminer l'importance de l'investissement des ateliers dans la capacité à traiter de

l'information t_1 . Plus cette capacité est forte, plus la précision $h(t)$ des ateliers dans l'observation des chocs est grande. De même, la valeur du traitement de l'information par les ateliers dépend du temps t_1 consacré à observer les chocs.

$$\text{Ainsi : } V(t_1) = \sum_i \alpha_i(t_1) \cdot \bar{V}_i, \text{ où } \alpha_i(t_1) = \frac{h(t_1)}{h(t_1) + \frac{1}{\sigma_i^2}} \cdot \exp^{-\rho T}. \quad (4)$$

Dans cette dernière équation, T représente le temps total disponible pour observer, communiquer et produire. Quand la variance des aléas augmente, la valeur de $\alpha_i(t_1)$ augmente et la valeur du traitement de l'information augmente également. Selon Aoki (1990), l'augmentation de la volatilité des aléas fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers. Une variance des chocs importante fait augmenter le temps d'apprentissage et renforce la coordination horizontale, soit un effet contraire à celui de la volatilité de l'environnement. La prise des décisions par les ateliers est donc adaptée à des aléas importants quand les chocs passés donnent des informations sur les chocs à venir.

La variance des chocs est également prise en compte dans le modèle de Geanakoplos et Milgrom (1991). Selon eux, une entreprise est composée de N ateliers produisant un seul bien dont le coût est affecté par une variable aléatoire γ . Ils considèrent une organisation hiérarchique comportant trois niveaux où le sommet décide de l'objectif de production et le répartit entre ses subordonnés immédiats. Ceux-ci sont responsables d'un service contenant n ateliers et doivent répartir l'objectif de production entre les ateliers en se fondant sur leurs observations. Ces managers ne disposent que d'une capacité et d'un temps limités (représentés respectivement par α et τ) pour observer les chocs affectant les ateliers.

L'erreur d'observation commise par les responsables des services est d'autant plus faible que leur capacité est grande et que leur temps d'observation est long. Néanmoins, la valeur de leur travail dépend aussi des caractéristiques de leur environnement et notamment de la variance du choc ($1/r$). Ainsi, la valeur de l'activité du manager M est donnée par l'équation suivante :

$$V(M) = \frac{(n-1) \cdot B \cdot \beta}{r(n + \beta)}, \text{ avec } \beta = \frac{\alpha \tau}{r} \quad (5)$$

De plus, nous avons vu lors du chapitre précédent que la taille optimale de chaque service est obtenue en résolvant le problème suivant : $\underset{n \geq 1}{\text{Max}} \quad \psi(n) = \frac{1}{n} \cdot [V(M) - w]$ (6)

Lorsque $w < \frac{B \cdot \beta}{r}$, Geanakoplos et Milgrom (1991) montrent que la taille optimale de chaque service est donnée par l'équation suivante :

$$N(K, \beta) = \beta \cdot \frac{1+K}{\beta-K} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\beta-K}{1+K}} \right), \text{ où } K = \frac{wr}{\beta} \quad (7)$$

Selon ces auteurs, pour une taille donnée n d'un service, la valeur marginale de l'activité du manager décroît quand la variance des chocs diminue (quand le paramètre r augmente). En

$$\text{effet : } \frac{\partial^2 \psi}{\partial \beta \partial r} \leq 0 \quad (8)$$

Autrement dit, quand la variance des chocs augmente (quand le paramètre r diminue), la valeur de l'activité du manager M augmente.

De plus, Geanakoplos et Milgrom (1991) montrent que la taille optimale des services augmente quand la variance des chocs diminue. Selon eux, les entreprises appartenant à des industries stables ont une meilleure connaissance de leur environnement que les entreprises appartenant à des industries nouvelles. Ces dernières doivent donc embaucher un plus grand nombre de managers de manière à faire diminuer la taille des services. Au contraire, les entreprises qui ont une meilleure connaissance de leur environnement ont des services de plus grande taille car elles utilisent un plus petit nombre de managers par unité de produit.

Ainsi, la variance de l'aléa fait augmenter le nombre optimal des managers responsables des ateliers dans la hiérarchie. Cette variable contribue à la décentralisation des décisions au niveau des ateliers chez Aoki (1990) et à la décentralisation des décisions au niveau de la hiérarchie intermédiaire chez Geanakoplos et Milgrom (1991). Bien que ces deux modèles ne soient pas directement comparables, leurs résultats sont plus cohérents que ceux associés à la volatilité de l'environnement. Enfin, une dernière variable peut faire évoluer l'organisation optimale des activités administratives : la capacité de traitement des agents.

B- L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes

Des facteurs autres que la variance ou la volatilité des aléas font évoluer l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes. Chez Aoki (1986), la précision des agents lors de l'identification des chocs ou le temps d'adaptation des plans de production ont une influence sur l'efficacité des différentes formes organisationnelles. Chez Geanakoplos et Milgrom (1991), la capacité des managers à collecter de l'information affecte le nombre optimal des responsables des ateliers. Cette capacité dépend des compétences propres aux managers et de la qualité du système d'information dont ils disposent.

L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives de plusieurs façons. Nous verrons dans un premier temps que l'amélioration de la capacité de traitement favorise la coordination verticale et fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers. Nous verrons dans un deuxième temps que l'amélioration de la capacité des managers à collecter de l'information fait augmenter puis diminuer le nombre optimal des responsables des ateliers.

1) *L'amélioration de la capacité de traitement favorise la coordination verticale et fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers*

Nous avons vu auparavant que l'augmentation de la volatilité de l'environnement rend les structures d'information horizontales préférables aux structures d'information verticales. Le raisonnement d'Aoki (1986) s'appuyait sur deux conditions montrant respectivement la supériorité de la coordination quasi horizontale et celle de la coordination horizontale imparfaite.

$$\frac{\exp^{-2h\Delta}}{1+\gamma} < \theta\beta^{-\theta}v(\theta, \beta) \quad (9)$$

$$\frac{\exp^{-2h\Delta}}{1+\gamma} < \theta\beta^{-\theta}v(\theta, \beta)\eta(B) \quad (10)$$

Selon Aoki (1986), les paramètres γ et Δ décrivent le degré d'imprécision des observations du centre et le temps nécessaire à la hiérarchie pour s'adapter aux aléas. Quand la précision des observations est plus grande ou quand le temps d'adaptation diminue, la coordination verticale est renforcée par rapport à la coordination horizontale. En effet, la diminution de γ ou de Δ fait augmenter le terme de gauche et peut changer le signe de l'inégalité. L'informatisation peut donc contribuer à substituer une structure d'information verticale à une structure d'information horizontale.

L'analyse du rôle joué par l'informatisation est plus difficile dans le modèle de participation proposé par Aoki (1990). Dans ce modèle, les ateliers consacrent un temps t_1 à l'observation des chocs et un temps t_2 à la communication des informations observées avec les autres ateliers. La compétence des ateliers $h(t)$ est représentée par une loi de Gompertz exprimée en fonction du temps d'apprentissage t_1 . Plus ce temps est important et plus la précision des ateliers dans l'identification des aléas est grande. De plus, la compétence d'un atelier dépend de sa précision initiale $h(0)$ et de sa précision maximale Q lorsque le temps d'apprentissage tend vers l'infini.

Aoki (1990) montre qu'un faible niveau initial des compétences des ateliers favorise un temps d'apprentissage élevé. Le temps d'apprentissage est également élevé quand la compétence maximale des ateliers est forte. Dans ce cas, le temps d'observation vient se substituer au temps de coordination entre les ateliers.

Les conséquences de l'utilisation des technologies de l'information sur le temps optimal d'apprentissage des ateliers t_1^* sont ambiguës. D'une part, ces technologies peuvent augmenter la compétence initiale des ateliers et réduire le temps consacré à l'observation des chocs, ce qui atténue le rôle des ateliers. D'autre part, ces technologies peuvent augmenter la compétence maximale des ateliers et renforcer leur rôle en augmentant la durée du temps d'apprentissage. Selon Aoki (1990), le temps optimal d'apprentissage des ateliers ne varie pas quand l'augmentation des compétences initiales correspond exactement à l'augmentation des compétences maximales.

Lors de la discussion des résultats de son modèle, Aoki (1990) estime que les technologies de l'information constituent l'un des facteurs contribuant à l'existence des organisations participatives. Il justifie cette affirmation en montrant que ces technologies font diminuer le temps t_2 consacré à la communication entre les ateliers dans les organisations de grande taille. Selon les termes du modèle, la diminution de t_2 permet aux ateliers de consacrer plus de temps à l'apprentissage et à la production, ce qui génère une rente informationnelle. Aoki (1990) observe qu'un résultat identique peut être obtenu grâce à des innovations organisationnelles telles que le Kanban.

L'amélioration du système d'information favorise donc les structures de communication verticales tout en faisant augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers. Les technologies de l'information ont donc des conséquences contradictoires sur l'organisation des activités administratives. Ces contradictions s'expliquent par le caractère ad hoc de ces modèles relevé par Aoki (1996). Dans le premier cas, les TI affectent la seule structure d'information verticale, dans le second cas, elles n'affectent que le temps de communication des ateliers. Or, il est plausible que les TI offrent la possibilité à la hiérarchie de traiter des informations relatives aux chocs et de planifier d'une manière distincte du modèle routinier.

Dans le modèle de Geanakoplos et Milgrom (1991), les conséquences de l'informatisation sur l'organisation optimale des activités administratives sont également envisagées. Selon ces auteurs, l'amélioration de la capacité des managers à collecter de l'information fait augmenter puis diminuer le nombre optimal des responsables des ateliers.

2) *L'amélioration de la capacité des managers à collecter de l'information fait augmenter puis diminuer le nombre optimal des responsables des ateliers*

Dans le modèle de Geanakoplos et Milgrom (1991), la variance des aléas fait augmenter le nombre optimal des managers responsables des ateliers. Ces auteurs analysent également les conséquences de l'augmentation de la capacité des managers à collecter de l'information sur le nombre optimal des responsables des ateliers. Rappelons que le nombre optimal d'ateliers sous la responsabilité d'un manager est déterminée par la solution du problème suivant :

$$\underset{n \geq 1}{Max} \quad \psi(n) = \frac{1}{n} \cdot [V(M) - w] \quad (11)$$

où $V(M) = \frac{(n-1) \cdot B \cdot \beta}{r(n+\beta)}$ représente la valeur de l'activité du manager M et où $\beta = \frac{\alpha \tau}{r}$

représente la capacité du manager à collecter de l'information.

Quand $w < \frac{B \cdot \beta}{r}$, la taille optimale des services est donnée par :

$$N(K, \beta) = \beta \cdot \frac{1+K}{\beta-K} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\beta-K}{1+K}} \right), \text{ où } K = \frac{wr}{\beta} \quad (12)$$

Geanakoplos et Milgrom (1991) montrent que la capacité de collecte des managers β et la taille optimale des services N sont liés par une courbe en U. Intuitivement, quand β est faible, les managers sont peu productifs et le chef d'entreprise réduit la masse salariale en faisant diminuer le nombre des responsables des ateliers. Ainsi, quand $w \geq \frac{B \cdot \beta}{r}$, l'entreprise n'embauche pas de managers et la taille des services tend vers l'infini.

Quand β est fort, les managers sont très productifs et un petit nombre d'entre eux suffit pour minimiser les coûts de production des ateliers. De nouveau, la taille optimale des services est élevée. Enfin, quand β est moyen, la productivité des managers est modérée : ils peuvent réduire de manière significative les coûts des ateliers sans pouvoir diriger des services de très grande taille. Dans ce cas, la taille optimale des services est modérée et le nombre optimal des responsables des ateliers est relativement grand.

Il est cependant difficile de prédire que l'informatisation fait augmenter, puis diminuer le nombre optimal des responsables des ateliers. D'une part, le paramètre β dépend à la fois de la capacité α des managers, de leur temps d'observation τ et de l'incertitude de l'environnement $1/r$. D'autre part, selon Geanakoplos et Milgrom (1991), le paramètre α reflète à la fois la compétence des managers et la qualité du système d'information dont ils

disposent. L'informatisation augmente la capacité des managers et influence l'organisation de la hiérarchie régulière pour un niveau d'incertitude de l'environnement et un temps d'observation donnés.

Lors de cette première section, nous avons étudié le rôle de l'incertitude de l'environnement et de l'amélioration de la capacité de traitement dans l'évolution de l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes. Les résultats obtenus par les modèles exposés sont parfois contradictoires. Ainsi, la volatilité de l'environnement favorise les structures d'information horizontales (Aoki 1986), alors qu'elle fait diminuer le temps optimal d'apprentissage des ateliers (Aoki 1990). De même, l'amélioration de la capacité de traitement favorise les structures d'information verticales (Aoki 1986) et fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers (Aoki 1990).

Il est également intéressant de rapprocher les résultats obtenus en cas d'une amélioration de la capacité de traitement avec ceux relatifs à la volatilité de l'environnement. Selon Aoki (1986), quand la capacité de traitement du centre est améliorée et que l'environnement devient plus volatil, l'efficacité des modes de coordination dépend de l'ampleur respective de ces changements. Quand l'effet de la volatilité est plus important, la coordination horizontale est plus efficace que la coordination verticale, mais elle le devient plus tardivement en raison du changement technologique. Aoki (1990) obtient un résultat proche du précédent : la volatilité fait diminuer le temps optimal d'apprentissage des ateliers alors que l'informatisation le fait augmenter.

L'incertitude de l'environnement et l'amélioration de la capacité de traitement jouent également un rôle important dans les modèles d'agrégation de l'information car ils constituent des facteurs d'évolution de la taille optimale des activités administratives.

II) Les facteurs d'évolution de la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information

Les facteurs faisant évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information sont proches de ceux mis en évidence par la théorie des équipes. Ainsi, l'incertitude de l'environnement et l'amélioration de la capacité de traitement des agents issue de l'informatisation vont faire évoluer le nombre optimal des agents. Néanmoins, la manière dont l'incertitude de l'environnement et l'amélioration de la capacité de traitement sont définis peuvent différer au regard des conceptions de la théorie des équipes.

Dans la théorie des équipes, l'incertitude de l'environnement est décrit par la variance et la volatilité des chocs affectant les ateliers, alors que l'environnement prend des formes diverses

dans les modèles d'agrégation de l'information. Radner (1993) représente l'environnement par le nombre de données à traiter. Bolton et Dewatripont (1994) représentent l'environnement par la fréquence d'arrivée des cohortes de M données. Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) définissent l'incertitude de l'environnement comme dans la théorie des équipes mais en l'intégrant dans un modèle d'agrégation de l'information. Nous verrons dans un premier temps que l'incertitude de l'environnement des entreprises fait évoluer la taille optimale des activités administratives dans ce dernier modèle.

Dans la théorie des équipes, l'augmentation de la capacité de traitement concerne les managers responsables des ateliers (Geanakoplos et Milgrom 1991) ainsi que le centre et les ateliers qui observent l'environnement (Aoki 1986, 1990). Dans les modèles d'agrégation de l'information, la capacité de traitement est assimilée au nombre de périodes nécessaire à un agent pour effectuer une opération ou pour traiter une donnée. Nous étudierons dans un deuxième temps la manière dont l'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer la taille optimale des activités administratives.

A- L'incertitude de l'environnement des entreprises fait évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information

Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) considèrent un modèle d'agrégation de l'information où l'incertitude de l'environnement est définie comme dans la théorie des équipes. Ces auteurs supposent que les agents administratifs doivent observer les préférences des consommateurs pour déterminer les caractéristiques à donner à un nouveau produit. Ces préférences imparfaitement observables se caractérisent par leur dispersion et par leur volatilité dans le temps. Le problème est de constituer un échantillon suffisamment important pour décrire précisément les préférences. Le délai de traitement de cet échantillon ne doit pas être trop important pour minimiser l'écart avec les préférences quand la volatilité est forte.

Nous verrons dans un premier temps que la dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter la taille optimale des activités administratives quand les agents ne sont pas rémunérés. Nous verrons dans un deuxième temps que la dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter puis diminuer la taille optimale des activités administratives quand les agents sont rémunérés. Nous verrons dans un troisième temps que la volatilité des préférences des consommateurs fait diminuer la taille optimale des activités administratives.

1) *La dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter la taille optimale des activités administratives quand les agents ne sont pas rémunérés*

Dans le modèle de Meagher, Orbay et Van Zandt (2002), une entreprise en monopole cherche à maximiser son profit en vendant un nouveau produit dont les caractéristiques sont aussi proches que possible des goûts des consommateurs. Selon ces auteurs, les activités administratives ont pour objet l'évaluation des préférences des consommateurs qui sont imparfaitement observables. Ces préférences sont caractérisées par leur dispersion σ_y^2 et par leur volatilité dans le temps σ_ε^2 . Lorsque les agents ne sont pas rémunérés, nous avons vu que l'entreprise choisit son prix et le nombre de données à traiter de manière à maximiser son revenu.

En l'absence de rémunération des agents, la maximisation du revenu équivaut à la minimisation de la variance totale. Cette variance totale est obtenue en ajoutant la variance de la variable aléatoire à la variance de la prédiction issue de l'agrégation des données, comme le

$$\text{montre l'équation suivante : } V(n) = \sigma_y^2 + L \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 + \frac{\sigma_y^2}{n} = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + \lceil \log_2 n \rceil \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2. \quad (13)$$

Dans l'équation ci-dessus, L représente le délai nécessaire à l'agrégation de n données par les agents. Quand ces derniers ne sont pas rémunérés, $\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$ agents sont utilisés pour agréger n données dans un délai de $\lceil \log_2 n \rceil$ périodes. La variable τ détermine le nombre de périodes nécessaire aux agents pour effectuer une opération.

La minimisation de la variance totale donne la taille optimale suivante pour l'échantillon :

$$V'(n) = 0 \Leftrightarrow -\frac{\sigma_y^2}{n^2} + \frac{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}{n \ln 2} = 0 \Leftrightarrow n \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 = \ln 2 \cdot \sigma_y^2 \Leftrightarrow n^* = \frac{\ln 2 \cdot \sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}. \quad (14)$$

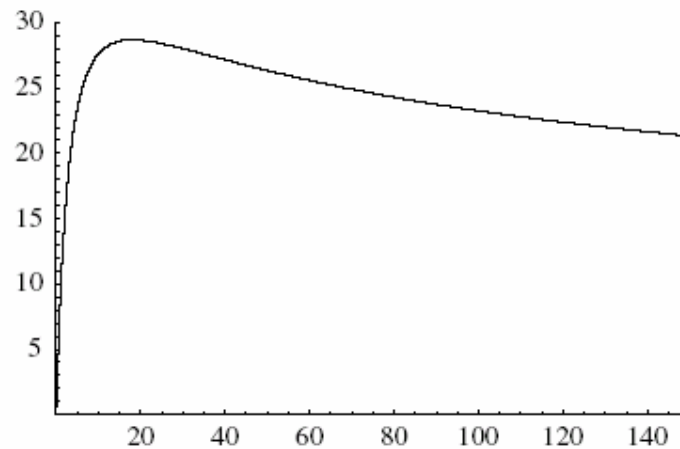
$\frac{\delta n^*}{\delta \sigma_y^2} = \frac{\ln 2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2} > 0$. Quand la dispersion des préférences des consommateurs augmente, la taille optimale de l'échantillon augmente et la taille optimale des activités administratives augmente. Les résultats obtenus par Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) dans une version remaniée de leur article sont identiques quand les agents ne sont pas rémunérés mais ils diffèrent en présence d'un coût de traitement des données. Nous allons voir que la dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter puis diminuer la taille optimale des activités administratives quand les agents sont rémunérés.

2) *La dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter puis diminuer la taille optimale des activités administratives quand les agents sont rémunérés*

Selon Meagher, Orbay et Van Zandt (2002), la taille optimale de l'échantillon et celle des activités administratives augmente avec la dispersion des préférences des consommateurs quand les agents ne sont pas rémunérés. Au contraire, quand le traitement de l'information est coûteux, une plus grande dispersion des préférences des consommateurs fait diminuer la taille optimale de l'échantillon et celle des activités administratives. Ce résultat est obtenu quand la capacité de traitement et la volatilité de l'environnement sont fixées.

Intuitivement, le traitement d'un grand nombre de données est intéressant quand les préférences des consommateurs sont concentrées autour de la moyenne. Quand ces préférences sont dispersées, le bénéfice marginal associé au traitement de données supplémentaires diminue. Le coût marginal du traitement des données est toujours de w , ce qui signifie que la taille optimale de l'échantillon diminue quand la dispersion des préférences des consommateurs augmente.

Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) donnent un résultat quelque peu différent du précédent. Dans le graphique ci-dessous, l'axe des abscisses reflète l'augmentation de la dispersion des préférences et l'axe des ordonnées reflète l'augmentation de la taille optimale de l'échantillon. Il montre que la taille optimale de l'échantillon augmente fortement dans un premier temps, puis diminue progressivement pour une dispersion des préférence supérieure à 20.



Graphique 2.1 : Expression de la taille de l'échantillon en fonction de la dispersion des préférences des consommateurs pour $a = 8$, pour $\sigma_e^2 = 0,1$ pour $\tau = 1$, pour $\alpha = 1$ et pour $w = 0,001$

Les auteurs donnent une interprétation intuitive de cette courbe en U inversée. D'une part, quand la dispersion des préférences est très faible, une seule observation suffit pour obtenir une estimation précise et rend inutile la constitution d'un échantillon de grande taille. D'autre part, quand la dispersion des préférences est très grande, la valeur du traitement d'une grande quantité de données est faible car elle implique un délai important. De nouveau, la taille optimale de l'échantillon est faible. Enfin, quand la dispersion des préférences est moyenne, l'échantillon constitué est de plus grande taille.

Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) considèrent également l'évolution de l'emploi de production en liaison avec une augmentation de la variance totale. Selon eux, une augmentation de la dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter la variance totale et fait diminuer les quantités produites par l'entreprise en monopole. Par conséquent, l'emploi de production diminue indépendamment de l'existence ou non d'une rémunération des agents, ce qui donne un résultat distinct de celui obtenu pour l'emploi administratif. Le modèle de Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) n'offre donc pas de prédictions claires quant aux liens entre environnement et taille des entreprises.

Les conséquences de la dispersion des préférences des consommateurs sur la taille optimale de l'échantillon et des activités administratives diffèrent suivant que les agents sont rémunérés ou non. En l'absence de coûts salariaux, la taille optimale augmente et en leur présence, elle augmente, puis diminue. Nous allons voir que les résultats relatifs à la volatilité des préférences des consommateurs sont identiques avec ou sans rémunération des agents. La volatilité fait diminuer la taille optimale de l'échantillon et des activités administratives.

3) La volatilité des préférences des consommateurs fait diminuer la taille optimale des activités administratives

D'après Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) l'effet de la dispersion des préférences des consommateurs sur la taille optimale des activités administratives diffère suivant que les agents sont rémunérés ou non. Ces auteurs obtiennent des résultats plus homogènes quant à l'effet de la volatilité sur le nombre de données à traiter avec ou sans rémunération des agents. Dans ce dernier cas, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) montrent que la volatilité des préférences fait diminuer la taille optimale de l'échantillon et des activités administratives. Quand les agents sont rémunérés et que la volatilité est nulle, la taille optimale des activités administratives ne tend pas vers l'infini mais vers une constante.

Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) obtiennent une diminution de la taille optimale des activités administratives en présence et en l'absence de rémunération des agents. Quand les

agents ne sont pas rémunérés, nous avons vu que la maximisation du profit équivaut à la minimisation de la variance totale. Le nombre optimal de données à traiter pour maximiser le profit est donné par l'expression suivante : $n^* = \frac{\sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}$. (15)

L'effet de la volatilité de l'environnement sur la taille optimale de l'échantillon est déterminé en dérivant l'expression ci-dessus par rapport à σ_ε^2 : $\frac{\delta n^*}{\delta \sigma_\varepsilon^2} = -\frac{\sigma_y^2}{\tau \cdot (\sigma_\varepsilon^2)^2} < 0$. (16)

Quand la volatilité de l'environnement augmente, la taille optimale de l'échantillon n^* diminue et la taille optimale des activités administratives τn^* diminue.

Lorsque les agents sont rémunérés en fonction du nombre des opérations accomplies, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) montrent que le résultat est identique. Selon ces auteurs, quand un agent traite une donnée en τ périodes, le délai est donné par : $L = \alpha + \log n$. La

variance totale devient : $V(n) = \sigma_y^2 + L \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 + \frac{\sigma_y^2}{n} = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + \tau \cdot (\alpha + \log n) \cdot \sigma_\varepsilon^2$. (17)

On en déduit : $V'(n) = -\left(\frac{\sigma_y^2}{n^2}\right) + \tau \cdot \frac{\sigma_\varepsilon^2}{n} < 0$ si $n < \frac{\sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}$. (18)

De plus, $V''(n) = \frac{2 \cdot \sigma_y^2}{n^3} - \tau \cdot \frac{\sigma_\varepsilon^2}{n^2} > 0$ si $n < \frac{2 \cdot \sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}$. (19)

Le profit est obtenu quand on retranche les rémunérations des agents du revenu de l'entreprise : $\Pi(n) = R^*(V(n)^{-1/2}) - \tau \cdot w \cdot n = f(V(n)) - \tau \cdot w \cdot n$. (20)

Par conséquent, $f'(V(n)) = R^*(V(n)^{-1/2}) \cdot \left[-\frac{1}{2} \cdot V(n)^{-3/2}\right] < 0$ si $R^*(V(n)^{-1/2}) > 0$ (21)

Le nombre optimal de données à traiter est celui qui maximise le profit :

$\Pi'(n) = f'(V(n)) \cdot V'(n) - \tau \cdot w$. (22)

Selon les auteurs, le profit a des différences strictement décroissantes par rapport à $(n, \sigma_\varepsilon^2)$

quand la taille optimale de l'échantillon est telle que : $n \leq \frac{\sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}$. Dans ce cas, une augmentation de σ_ε^2 affecte $\Pi'(n)$ de plusieurs façons.

D'une part, on rappelle que $V'(n) = -\left(\frac{\sigma_y^2}{n^2}\right) + \tau \cdot \frac{\sigma_\varepsilon^2}{n} < 0$ si $n < \frac{\sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}$ et on remarque que

$V'(n)$ devient plus petit en valeur absolue quand σ_ε^2 augmente.

D'autre part, on observe que $V(n)$ augmente quand σ_ε^2 augmente, ce qui implique que $f'(V(n)) < 0$. De plus, $f'(V(n))$ devient plus petit en valeur absolue quand σ_ε^2 augmente. Par conséquent, le terme $f'(V(n)) \cdot V'(n)$ est positif et devient plus petit en valeur absolue quand σ_ε^2 augmente.

En définitive, $\tau \cdot w$ est supérieur en valeur absolue à $f'(V(n)) \cdot V'(n)$, ce qui signifie que $\Pi'(n)$ est décroissante quand σ_ε^2 augmente et que le profit a des différences strictement décroissantes par rapport à $(n, \sigma_\varepsilon^2)$. Autrement dit, l'augmentation de la volatilité des préférences fait diminuer la taille optimale de l'échantillon et celle des activités administratives.

Le modèle de Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) présente enfin l'avantage de distinguer la taille des activités administrative de celle des activités de production. Cette dernière dépend des quantités produites par l'entreprise en monopole qui sont elles-mêmes liées à la volatilité des préférences des consommateurs. Quand la volatilité augmente, la variance totale augmente, les quantités produites diminuent et la taille des activités de production baisse. La volatilité des préférences fait donc baisser la taille optimale des activités administratives ainsi que l'emploi de production, ce qui implique une diminution de la taille des entreprises.

Nous avons vu que l'incertitude de l'environnement des entreprises fait évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information. La dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter cette taille optimale quand les agents ne sont pas rémunérés, alors que la taille optimale augmente, puis diminue quand les agents sont rémunérés. La volatilité des préférences fait diminuer la taille optimale des activités administratives et celle des activités de production.

A présent, nous allons voir que l'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information.

B- L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information

Dans la plupart des modèles présentés par la suite, la capacité de traitement est définie par le nombre de périodes nécessaire à un agent pour effectuer une opération ou pour traiter une donnée. Le modèle de Bolton et Dewatripont (1994) retient une logique légèrement différente en tenant compte du nombre de messages reçus (coût de communication fixe) et le nombre de données initiales contenues dans ces messages (coût de communication variable). La diversité des modèles engendre des prédictions contradictoires quant à l'effet de l'amélioration de la capacité de traitement des agents sur la taille optimale des activités administratives.

Nous verrons dans un premier temps que l'amélioration de la capacité de traitement fait augmenter ou laisse inchangée la taille optimale des activités administratives suivant la définition retenue pour la taille. Nous verrons dans un deuxième temps que l'amélioration de la capacité de traitement fait diminuer la taille optimale des activités administratives. Nous verrons dans un troisième temps que l'amélioration de la capacité de traitement doit être suffisamment forte pour faire diminuer la taille optimale des activités administratives.

1) L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait augmenter ou laisse inchangée la taille optimale des activités administratives

Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) considèrent des agents dont la capacité de calcul est limitée. Dans leur modèle, la variable τ détermine le nombre de périodes nécessaires pour qu'ils effectuent une opération. Par conséquent, une amélioration de la capacité de traitement des agents consécutive à l'informatisation se manifeste par une diminution de la valeur de la variable τ . La taille optimale de l'échantillon et la taille optimale des activités administratives sont déterminés de manière à maximiser le profit de l'entreprise.

En l'absence de rémunération des agents, la minimisation de la variance totale $V(n)$ équivaut à la maximisation du profit. L'expression de la variance totale est donnée par l'équation

$$\text{suivante : } V(n) = \sigma_y^2 + L \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2 + \frac{\sigma_y^2}{n} = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right) + \lceil \log_2 n \rceil \cdot \tau \cdot \sigma_\varepsilon^2. \quad (23)$$

Dans l'équation ci-dessus, L représente le délai nécessaire à l'agrégation de n données par les agents. Quand ces derniers ne sont pas rémunérés, $\left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor$ agents sont utilisés pour agréger n

données dans un délai de $\lceil \log_2 n \rceil$ périodes. La minimisation de la variance totale donne la

$$\text{taille optimale suivante pour l'échantillon : } n^* = \frac{\ln 2 \cdot \sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}. \quad (24)$$

Les conséquences de l'augmentation de la capacité de traitement des agents sur la taille optimale de l'échantillon sont décrites par le signe de la dérivée première suivante :

$$\frac{\delta n^*}{\delta \tau} = -\ln 2 \cdot \frac{\sigma_y^2}{\tau^2 \cdot \sigma_\varepsilon^2} < 0. \quad (25)$$

Quand τ augmente, la capacité de traitement des managers diminue et la taille optimale de l'échantillon diminue. Au contraire, quand la capacité de traitement des managers augmente, la taille optimale de l'échantillon augmente. Sachant que le nombre des agents est égal à la moitié du nombre des données, il en va de même pour la taille optimale des activités administratives.

Quand les agents sont rémunérés, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002) ne montrent pas explicitement que l'amélioration de la capacité de traitement fait augmenter la taille optimale des activités administratives. Néanmoins, ils mettent en évidence l'existence d'une limite à la taille quand la variable γ tend vers l'infini. Sachant que $\gamma = \frac{1}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}$, cette variable est d'autant

plus grande que la volatilité est faible et que la capacité de traitement est forte. Sachant que la volatilité de l'environnement fait diminuer la taille des activités administratives, l'augmentation de la capacité de traitement possède a priori l'effet inverse.

Pourtant, dans une version révisée de leur article, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) donnent des résultats très différents car ils retiennent une autre conception de la taille des activités administratives. A présent, l'augmentation du nombre de données à traiter ne se traduit pas automatiquement par une augmentation de la taille des activités administratives. Selon ces auteurs, l'informatisation permet à un nombre fixé d'agents de traiter un plus grand nombre de données. L'informatisation fait également diminuer le nombre des agents nécessaire au traitement d'un nombre de données fixé.

Quand les agents ne sont pas rémunérés, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) estiment que le premier effet de l'informatisation se manifeste. Celle-ci fait augmenter la taille optimale de l'échantillon, mais laisse inchangée la taille optimale des activités administratives. Formellement, la taille optimale de l'échantillon est donnée par l'équation suivante :

$$n^* = \frac{\sigma_y^2}{\tau \cdot \sigma_\varepsilon^2}. \quad (26)$$

En déplaçant la capacité de traitement dans le terme de gauche, on voit que la taille optimale des activités administratives dépend de la dispersion et de la volatilité des préférences des consommateurs. Cette taille optimale est indépendante de la capacité de traitement des agents.

$$\tau \cdot n^* = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}. \quad (27)$$

Quand les agents ne sont pas rémunérés, l'amélioration de la capacité de traitement des agents fait augmenter ou laisse inchangée la taille optimale des activités administratives suivant la définition retenue pour ces dernières. Quand les agents sont rémunérés, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) montrent que l'amélioration de la capacité de traitement des agents fait diminuer la taille optimale des activités administratives. Ce résultat est également obtenu par Bolton et Dewatripont (1994) dans un cadre différent où l'agrégation d'une série de cohortes de M données est prise en charge par un réseau stationnaire.

2) *L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait diminuer la taille optimale des activités administratives*

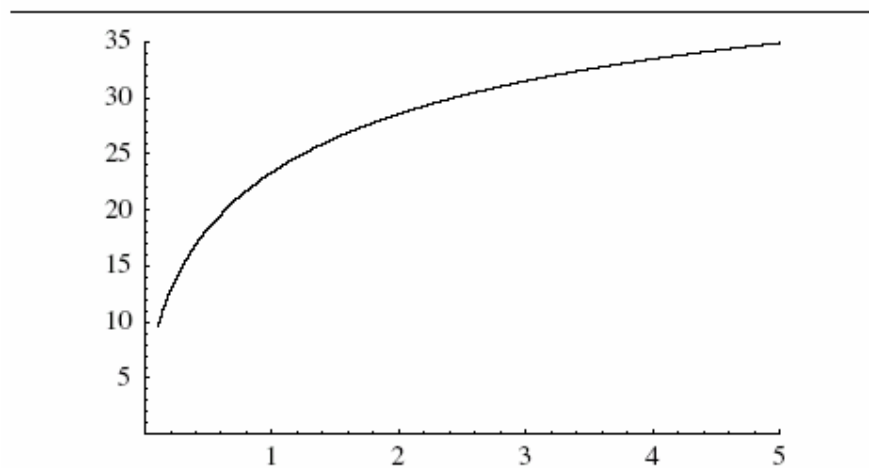
Selon Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) l'informatisation peut faire augmenter la taille optimale des activités administratives ou bien la maintenir inchangée quand les agents ne sont pas rémunérés. Dans d'autres modèles, l'informatisation peut faire diminuer le nombre d'agents nécessaires au traitement d'un nombre de données fixé. Bolton et Dewatripont (1994) montrent que les TI réduisent les coûts de communication et font baisser le nombre des agents administratifs ainsi que le nombre de niveaux hiérarchiques. Les TI font diminuer les coûts fixes λ et les coûts variables a , ce qui laisse la possibilité aux agents de traiter plus de données. Les agents effectuent une partie du travail de leurs subordonnés et le nombre d'agents nécessaires pour traiter une même quantité de données est plus faible.

Dans le modèle de Meagher, Orbay et Van Zandt (2004), la prise en compte de la rémunération des agents donne un résultat différent de celui obtenu en l'absence de rémunération. Dans ce dernier cas, nous avons vu que l'amélioration de la capacité de traitement des agents permet d'augmenter la taille optimale de l'échantillon sans modifier la taille optimale des activités administratives. Mais quand ces agents sont rémunérés en fonction du nombre de données traitées, l'amélioration de la capacité de traitement des agents fait diminuer la taille optimale des activités administratives. Le profit est donné par l'équation

suivante : $\Pi(n) = R^* \left(V(n)^{-1/2} \right) - \tau \cdot w \cdot n$, où $V(n) = \sigma_y^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{n} \right) + \tau \cdot (\alpha + \log n) \cdot \sigma_\varepsilon^2$. (28)

La capacité de traitement des agents est mesurée par la variable τ qui représente le nombre de périodes nécessaires à la lecture d'une donnée. L'augmentation de la capacité de traitement est donc mesurée par une diminution de τ . Selon Meagher, Orbay et Van Zandt (2004), quand le salaire des agents administratifs est positif et qu'ils deviennent plus productifs, le dirigeant choisit de diminuer la masse salariale. Dans ce cas, les TI font diminuer la taille optimale des activités administratives.

Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) illustrent cette conjecture par des tests numériques tel que celui représenté dans le graphique ci-dessous.



Graphique 2.2 : Expression de la taille des activités administratives en fonction de la capacité de traitement pour $a = 8$, pour $\sigma_y^2 = 5$, pour $\sigma_\varepsilon^2 = 0,1$ pour $\alpha = 1$ et pour $w = 0,001$

L'ordonnée de ce graphique représente la taille des activités administratives. L'abscisse de ce graphique décrit la capacité de traitement des agents. Celle-ci est d'autant plus forte que l'on se déplace vers la gauche de l'axe. L'augmentation de la capacité de traitement des agents fait donc diminuer la taille optimale des activités administratives. De plus, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) montrent que l'amélioration de la capacité de traitement des agents a un effet inverse sur la taille des activités de production. En effet, la diminution du paramètre τ fait diminuer la variance totale, ce qui implique une augmentation des quantités produites. Il n'est donc pas possible de prédire l'effet de l'informatisation sur la taille des entreprises.

Bolton et Dewatripont (1994), puis Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) utilisent des raisonnements différents pour obtenir un résultat identique. Pour les premiers, l'amélioration de la capacité de traitement permet de traiter un nombre identique de données avec un plus

petit nombre d'agents. Pour les seconds, l'amélioration de la capacité de traitement permet de traiter plus de données mais fait diminuer la taille optimale des activités administratives car les agents sont rémunérés en fonction du nombre de données traitées.

Enfin, selon Cukrowski et Baniak (1999), l'amélioration de la capacité de traitement des agents doit être suffisamment forte pour faire diminuer la taille optimale des activités administratives.

3) L'amélioration de la capacité de traitement des agents doit être suffisamment forte pour faire diminuer la taille optimale des activités administratives

Cukrowski et Baniak (1999) examinent les conséquences de l'amélioration de la technologie de traitement de l'information sur la taille des activités administratives dans un cadre d'analyse original. Selon eux, certaines conditions doivent être satisfaites pour aboutir à une restructuration du traitement de l'information. Leur modèle représente l'agrégation de l'information d'une manière proche de celle de Radner (1993) mais il s'en distingue en supposant que la capacité de traitement est endogène. Plus précisément, la vitesse de traitement de l'information propre à chaque agent dépend des ressources qui lui sont allouées. Dans le modèle de Cukrowski et Baniak (1999), l'objectif est de minimiser le délai de traitement d'une cohorte de N données pour un budget M donné. Ces auteurs supposent que le nombre d'opérations pouvant être accomplies par un agent au cours d'une unité de temps est d'autant plus grand qu'il reçoit un budget plus important. Quand le traitement des données est accompli par plusieurs agents, le budget total M doit être réparti entre eux de manière à minimiser le délai de traitement des N données. Ces auteurs donnent une formule du délai s'inspirant de celle de Radner (1993), où $F(M/P)$ représente le nombre d'opérations accomplies par chacun des P agents quand les ressources sont réparties également. Ainsi :

$$D_N(M) = \frac{\left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \lceil \log_2(P + N \bmod P) \rceil}{F\left(\frac{M}{P}\right)} \quad (29)$$

Pour N et M donnés, la taille de la structure efficiente P^* dépend des propriétés de la fonction de traitement de l'information F. Cukrowski et Baniak (1999) montrent que le traitement de l'information est effectué par un seul agent quand les rendements d'échelle de cette fonction sont constants ou croissants. De plus, ils observent que la décentralisation du traitement de l'information nécessite des rendements d'échelle décroissants ainsi qu'un nombre de données

N suffisamment grand. Enfin, la taille de la structure efficiente P^* dépend du nombre de données traitées N et du budget M .

D'après ces auteurs, pour N et M donnés, la taille de la structure efficiente de traitement de l'information P^* décroît ou reste la même quand le degré d'homogénéité de la fonction F augmente. Quand F est homogène de degré h , on a : $(1/P)^h F(M) = F(M/P)$ et le choix de la taille de la structure efficiente équivaut au problème de minimisation du délai suivant :

$$\text{Min}_P D_N(M) = \text{Min}_P \frac{\left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \lceil \log_2(P + N \bmod P) \rceil}{F\left(\frac{M}{P}\right)} = \text{Min}_P \frac{C_N(P)}{\left(\frac{1}{P}\right)^h \cdot F(M)},$$

$$\text{ou encore : } \text{Min}_P D_N(M) = \text{Min}_P P^h \cdot C_N(P) \quad (30)$$

En dérivant le délai D par rapport au nombre d'agents P , on a l'équation suivante :

$$P^{h-1} h C_N(P) + P^h C'_N(P) = 0 \quad (31)$$

$$\text{En divisant par } P^{h-1}, \text{ on obtient : } h C_N(P) + P C'_N(P) = 0 \quad (32)$$

Cette équation définit la valeur optimale P^* comme une fonction du degré d'homogénéité h .

P^* est un minimum quand la dérivée seconde du délai par rapport à P est positive :

$$(h+1) C'_N(P^*) + P^* C''_N(P^*) > 0 \quad (33)$$

En remarquant que (32) s'écrit également sous la forme $f(P(h), h)$ et en utilisant le théorème des fonction implicites, on déduit de (32) :

$$\frac{dP^*}{dh} = - \frac{C_N(P^*)}{(h+1) C'_N(P^*) + P^* C''_N(P^*)} \quad (34)$$

qui est négatif d'après (33).

Ainsi, une augmentation dans le degré d'homogénéité h fait diminuer le nombre optimal d'agents P^* . Cukrowski et Baniak (1999) remarquent qu'en réalité, le nombre d'agents n'est pas continu mais discret et que le nombre optimal P^* ne diminuera qu'à la suite d'une augmentation importante de h . La diminution de la taille optimale des activités administratives dépend donc de l'existence d'un changement technique suffisamment fort. Ce résultat est original au regard de ceux obtenus dans les autres modèles, néanmoins, ces auteurs ne précisent pas quels sont les effets de l'informatisation quand l'amélioration de la capacité de traitement est insuffisante pour réduire la taille optimale des activités administratives.

Lors de cette deuxième section, nous avons vu que l'incertitude de l'environnement et l'amélioration de la capacité de traitement des agents font évoluer la taille optimale des

activités administratives dans les modèles représentant l'agrégation de l'information. Le sens de cette évolution diffère suivant les modèles qui donnent des résultats contradictoires quant aux conséquences de la dispersion des préférences des consommateurs et de l'amélioration de la capacité de traitement. Il n'est donc pas possible de prédire si l'informatisation fait augmenter ou diminuer la taille optimale des activités administratives.

La section suivante montre de manière plus détaillée pourquoi la théorie des équipes et les modèles d'agrégation de l'information offrent une analyse incomplète de l'informatisation des activités administratives.

III) La théorie des équipes et les modèles d'agrégation de l'information offrent une analyse incomplète de l'informatisation des activités administratives

Lors de la deuxième section, nous avons étudié l'influence de l'amélioration de la capacité de traitement des agents sur l'organisation et sur la taille optimale des activités administratives. Cette étude s'est restreinte aux principaux modèles de la théorie des équipes et aux modèles représentant l'agrégation de l'information. Lors de cette section, nous allons voir que l'analyse de l'informatisation des activités administratives est incomplète d'un point de vue théorique et d'un point de vue empirique.

D'un point de vue théorique, les modèles présentés ci-dessus relèvent d'une optique d'optimisation de l'organisation sous contrainte de rationalité limitée des agents. Cette optique considère les relations entre environnement, informatisation, organisation et efficience d'un point de vue particulier. Nous verrons dans un premier temps que l'informatisation et l'environnement sont des facteurs de contingence qui font évoluer l'organisation optimale des activités administratives.

D'un point de vue empirique, les modèles présentés ci-dessus offrent de nombreuses prédictions quant aux conséquences de l'informatisation et de l'environnement sur l'organisation optimale des activités administratives. Mais ces modèles ne donnent pas de prédictions claires quant aux conséquences de la dispersion des préférences et de l'amélioration de la capacité de traitement sur la taille des entreprises. Nous verrons dans un deuxième temps que les vérifications empiriques des prédictions offertes par les modèles sont peu nombreuses et qu'elles n'envisagent pas tous les aspects de ces modèles.

A- Un point de vue particulier : l'informatisation et l'environnement comme facteurs de contingence faisant évoluer l'organisation optimale des activités administratives

Les différents modèles présentés lors de la section précédente ont pour point commun de considérer l'informatisation et l'environnement comme des facteurs de contingence favorisant l'évolution de l'organisation optimale des activités administratives. En dépit de cette perspective commune, il apparaît une grande diversité quant à l'organisation résultant de l'informatisation. Nous verrons dans un premier temps que les modèles formulent des prédictions contradictoires, voire ambiguës quant aux conséquences de l'informatisation sur l'organisation des activités administratives.

De plus, l'optimisation de l'organisation sous contrainte de rationalité limitée des agents étudie les liens entre informatisation, organisation et efficacité d'un point de vue particulier. Elle ne traite pas de certaines questions importantes comme le rôle de l'organisation des activités administratives dans la diffusion des technologies ou comme le seuil d'amélioration de la capacité de traitement nécessaire pour faire évoluer cette organisation. Nous verrons dans un deuxième temps que ces modèles n'ont pas abordé certains aspects dans les relations entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives.

1) *Des prédictions contradictoires, voire ambiguës quant aux conséquences de l'informatisation sur l'organisation des activités administratives*

Nous avons vu lors de la section précédente que la théorie des équipes et les modèles d'agrégation de l'information offrent des prédictions contradictoires quant à l'influence de l'informatisation sur l'organisation des activités administratives. Le tableau 2.1 ci-dessous donne une synthèse des principaux résultats obtenus.

Modèles	Variables affectées par l'informatisation	Effet de l'informatisation sur la taille et l'organisation des activités administratives	Conditions nécessaires à l'existence de cet effet
Aoki (1986)	Diminution du temps de planification (Δ) et augmentation de la capacité d'observation (γ) du centre	L'efficiency de la coordination centralisée est renforcée	
Aoki (1990)	Diminution du temps de communication entre les ateliers (t_2)	Augmentation du temps optimal d'apprentissage des ateliers (t_1)	
Geanakoplos et Milgrom (1991)	Augmentation de la capacité des managers à collecter de l'information (β)	Augmentation, puis diminution du nombre optimal des managers responsables des ateliers	
Meagher, Orbay et Van Zandt (2002)	Augmentation de la capacité de traitement des agents (τ)	Augmentation de la taille optimale des activités administratives	Pas de rémunération des agents
Meagher, Orbay et Van Zandt (2002)	Augmentation de la capacité de traitement des agents (τ)	La taille optimale des activités administratives est limitée	Rémunération des agents
Meagher, Orbay et Van Zandt (2004)	Augmentation de la capacité de traitement des agents (τ)	La taille optimale des activités administratives reste identique	Pas de rémunération des agents
Meagher, Orbay et Van Zandt (2004)	Augmentation de la capacité de traitement des agents (τ)	Diminution de la taille optimale des activités administratives	Rémunération des agents
Baniak et Cukrowski (1999)	Augmentation du degré d'homogénéité de la fonction de traitement de l'information (h)	Diminution de la taille optimale des activités administratives	L'augmentation du degré d'homogénéité doit être assez forte
Bolton et Dewatripont (1994)	Diminution du coût fixe (λ) et du coût variable (a) de communication	Diminution de la taille optimale des activités administratives	

Tableau 2.1 : Synthèse des effets de l'informatisation sur l'organisation des activités administratives

De plus, l'informatisation peut affecter l'organisation des activités administratives en faisant évoluer les frontières des entreprises. Van Zandt et Radner (2001), puis Van Zandt (2004) montrent que l'amélioration de la capacité de traitement des agents favorise le regroupement d'organisations indépendantes au sein d'une organisation plus vaste où les décisions sont décentralisées. Selon Meagher, Orbay et Van Zandt (2004), l'informatisation réduit la taille des activités administratives dans chaque unité décisionnelle, mais elle peut aussi faire augmenter le nombre de ces unités.

La prise en compte de l'évolution des frontières des organisations consécutive à l'informatisation rend donc ambigu l'effet de cette dernière sur la taille des activités administratives. Néanmoins, le principal inconvénient de cette représentation de l'informatisation des activités administratives ne réside pas dans le caractère contradictoire, voire ambigu de ses prédictions. En effet, cette représentation n'aborde pas certains aspects dans les relations entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives.

2) Des aspects non abordés dans les relations entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives

Les modèles présentés lors de ce chapitre supposent que l'amélioration de la capacité de traitement des agents ou l'évolution de l'environnement des entreprises engendrent le changement organisationnel. L'organisation des activités administratives obtenue à l'issue de ce changement est optimale car elle minimise les coûts associés au traitement de l'information lorsque les agents sont caractérisés par leur rationalité limitée. Cette logique d'optimisation sous contrainte de rationalité limitée n'aborde pas certains aspects relatifs aux liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives.

Premièrement, les modèles s'inspirant de la théorie des équipes considèrent que l'informatisation améliore de manière homogène la capacité de traitement de tous les agents. Ces modèles ne traitent pas des conséquences de l'informatisation d'un nombre limité d'agents dans une organisation administrative. Ce faisant, ces modèles ne montrent pas si les conséquences de l'informatisation sur l'efficacité diffèrent suivant les agents choisis dans une structure et suivant le type de structure à laquelle appartiennent les agents. Cette conception de l'informatisation néglige l'influence de l'organisation sur la diffusion des TI pourtant envisagée par les analyses de la co-évolution de l'informatisation et de l'organisation.

Deuxièmement, ces modèles supposent que l'informatisation engendre automatiquement une modification de l'organisation optimale des activités administratives. Seuls Cukrowski et

Baniak (1999) envisagent la possibilité d'une amélioration de la capacité de traitement insuffisante pour faire baisser la taille optimale des activités administratives. Cependant, ces auteurs ne disent rien sur le seuil qu'il faut atteindre pour faire diminuer la taille ni sur l'effet des TI sur l'efficacité en l'absence d'évolution de l'organisation. Pourtant, il est plausible que l'informatisation contribue à l'efficacité des activités administratives sans faire évoluer leur organisation.

Troisièmement, ces modèles ne décrivent pas les conséquences de l'environnement sur l'efficacité et sur l'informatisation des activités administratives en l'absence de changement organisationnel. Par hypothèse, l'incertitude de l'environnement est suffisamment forte pour faire évoluer la taille ou l'organisation des activités administratives. Pourtant, il est possible qu'une évolution de l'environnement affecte l'efficacité sans modifier l'organisation des activités administratives. De plus, l'effet de l'environnement sur l'organisation optimale des activités administratives peut compenser celui de l'informatisation¹. Dans ce cas, l'incertitude de l'environnement favorise l'informatisation sans forcément affecter l'efficacité ou l'organisation des activités administratives².

Les modèles s'inspirant de la théorie des équipes retiennent donc un point de vue particulier pour étudier les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives. Ces modèles considèrent l'informatisation et l'incertitude de l'environnement comme des facteurs de contingence qui affectent l'organisation optimale des activités administratives. Ils offrent des prédictions contradictoires, voire ambiguës quant aux liens entre informatisation et organisation des activités administratives. Ils n'abordent pas certaines dimensions des relations entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives qui font l'objet de la deuxième partie consacrée aux nouveaux aspects de l'analyse économique des activités administratives.

En outre, les vérifications empiriques des prédictions offertes par les modèles sont peu nombreuses et n'envisagent pas tous les aspects de ces modèles.

¹ Selon Van Zandt (2004), ces deux facteurs ont un effet contraire sur la taille des activités administratives et le sens de l'évolution de cette dernière dépend de l'importance respective de ces deux facteurs.

² Van Zandt et Radner (2001) envisagent la possibilité que l'environnement stratégique des entreprises les pousse à investir dans les TI afin d'obtenir une plus grande réactivité.

B- Les vérifications empiriques des prédictions offertes par les modèles sont peu nombreuses et n'envisagent pas tous les aspects de ces modèles

Les modèles représentant l'agrégation de l'information font rarement référence aux études empiriques relatives aux conséquences de l'informatisation des entreprises. Bolton et Dewatripont (1994) mentionnent cependant l'étude empirique de Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) qui confirme selon eux les résultats de leur modèle. Celui-ci établit un lien entre la réduction de la taille des activités administratives et l'amélioration de la capacité de traitement des agents issue de l'informatisation. Van Zandt et Radner (2001) citent cette même étude bien qu'elle infirme le lien entre l'augmentation de la taille des activités administrative et l'amélioration de la capacité de traitement des agents prédit par leur modèle.

Pourtant, l'étude empirique de Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) s'inspire de la théorie des contrats incomplets sans mentionner les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Nous verrons dans un premier temps que les études empiriques s'appuyant sur ces modèles décrivent l'effet de l'informatisation sur le nombre de niveaux hiérarchiques et sur la délégation des décisions. Nous constaterons dans un deuxième temps le manque d'études empiriques se fondant sur les prédictions de ces modèles quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises.

1) Les études empiriques décrivant l'effet de l'informatisation sur le nombre de niveaux hiérarchiques et sur la délégation des décisions

Les études empiriques vérifiant les prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes ne traitent pas de toutes les caractéristiques de l'organisation optimale envisagées par les modèles. Ainsi, les études empiriques conduites par Delmastro (2002), puis par Colombo et Delmastro (2004) décrivent les conséquences de l'informatisation sur le nombre de niveaux hiérarchiques et sur la délégation des décisions dans les usines métallurgiques italiennes en 1997. Curieusement, l'étude des déterminants du nombre des employés n'est pas envisagée par ces auteurs bien que ce nombre soit utilisé comme variable explicative dans leurs articles.

Delmastro (2002) analyse empiriquement les déterminants du nombre de niveaux hiérarchiques dans les usines métallurgiques italiennes en 1997. Son analyse empirique s'appuie sur les travaux théoriques relatifs au phénomène de perte de contrôle mis en évidence par Williamson (1967) et Beckmann (1977). Ces auteurs utilisent une fonction de production récursive où les quantités produites dépendent de la qualité du travail des agents

administratifs qui supervisent les opérationnels. Cette dernière dépend à la fois de la technologie de communication dont ils disposent, mais aussi du niveau de leur effort qui est d'autant plus important que la probabilité d'être contrôlé par un supérieur est grande.

Selon Delmastro (2002), les TI relèvent à la fois des technologies de communication et des technologies de contrôle. Elles améliorent la qualité du travail des agents administratifs en rendant plus aisée la communication entre les niveaux hiérarchiques et en facilitant le contrôle des agents. L'auteur s'inspire du modèle de Qian (1994) pour prédire une diminution du nombre de niveaux hiérarchiques consécutivement à l'amélioration des technologies de contrôle. Il se fonde sur les modèles de Keren et Levhari (1989), et de Lazear (1995) pour anticiper l'effet ambigu des technologies de communication sur le nombre de niveaux hiérarchiques. Ce nombre diminue d'après le premier modèle alors qu'il augmente d'après le deuxième modèle en raison des gains associés à une spécialisation accrue.

Delmastro (2002) étudie l'influence des TI sur le nombre de niveaux hiérarchiques en utilisant un modèle logit ordonné avec variable dépendante tronquée. Il montre que l'utilisation des réseaux internes est associée à une augmentation du nombre de niveaux hiérarchiques. Au contraire, le recours aux échanges de données informatisés (EDI) avec les clients, les fournisseurs et les sous-traitants est lié à une diminution du nombre de niveaux hiérarchiques. D'après cet auteur, les EDI sont utilisés en liaison avec un mouvement d'externalisation qui touche certains services auparavant intégrés dans ces entreprises métallurgiques.

De plus, Delmastro (2002) observe un effet différencié des TI suivant qu'elles s'appliquent à des entreprises comportant une ou plusieurs usines. Dans le premier cas, le coefficient associé aux réseaux internes est toujours positif et celui associé aux EDI est toujours négatif. Dans le second cas, le coefficient associé aux EDI est toujours négatif, mais il n'est plus significatif et celui associé aux réseaux internes est positif et significatif au seuil de 10%. Delmastro (2002) interprète ces résultats comme étant la conséquence d'un effet plus marqué des technologies de communication dans les entreprises comportant une seule usine. Ces dernières contiennent les différents services administratifs nécessaires à l'existence des activités de production.

Colombo et Delmastro (2004) recherchent les déterminants de la délégation des décisions stratégiques vers les responsables des usines métallurgiques italiennes en 1997. A partir des modèles s'inspirant de la théorie des équipes et des modèles de décentralisation des incitations, ces auteurs mettent en évidence l'existence d'un besoin de délégation, d'un besoin de coordination et d'une capacité de délégation. Selon eux, les TI ont des effets contradictoires sur la délégation des décisions car elles atténuent le besoin de délégation et

renforcent la capacité de délégation. Le premier effet va dans le sens d'une centralisation des décisions alors que le second va dans le sens d'une décentralisation des décisions.

Colombo et Delmastro (2004) s'inspirent du modèle de Keren et Levhari (1989) pour prédire une centralisation des décisions quand les TI réduisent les distorsions liées à la transmission de l'information. Ils se fondent sur le modèle de Geanakoplos et Milgrom (1991) pour anticiper un résultat identique quand les TI atténuent le bénéfice associé aux connaissances spécifiques des responsables locaux. Enfin, ils s'appuient sur le modèle de Radner (1993) pour prévoir la centralisation quand les TI réduisent le délai de prise de décision en situation d'incertitude. Leur interprétation du modèle d'Aghion et Tirole (1997) donne un rôle plus ambigu aux TI car elles atténuent le besoin de délégation et renforcent la capacité de délégation. Ainsi, les TI permettent de mieux observer et contrôler les décisions prises localement par les responsables des usines.

De plus, les TI interagissent avec d'autres variables explicatives de la délégation des décisions telles que le nombre des employés ou la présence de plusieurs usines. Selon Colombo et Delmastro (2004), l'adoption des réseaux internes atténue l'effet de délégation des décisions lié à l'augmentation du nombre des employés. En effet, les TI réduisent les bénéfices associés aux connaissances des responsables locaux. Enfin, l'adoption des réseaux internes fait diminuer les coûts de communication, d'information et de contrôle, ce qui peut atténuer ou renforcer les obstacles à la délégation des décisions liés à l'existence de plusieurs usines.

Colombo et Delmastro (2004) explorent les déterminants du degré de délégation des décisions stratégiques à l'aide d'un modèle probit ordonné à effets aléatoires. Selon eux, l'utilisation des réseaux internes favorise la décentralisation des décisions stratégiques (coefficient positif et significatif au seuil de 1%). De plus, le coefficient associé à l'interaction entre les TI et le nombre d'employés est négatif et significatif au seuil de 1%, ce qui montre que les TI atténuent l'effet de décentralisation lié au nombre des employés. Enfin, le coefficient associé à l'interaction entre les TI et la présence de plusieurs usines est positif et significatif au seuil de 5%. Les TI améliorent le contrôle sur les décisions prises par les responsables des usines ce qui permet une plus grande délégation des décisions.

Les études empiriques de Delmastro (2002), puis de Colombo et Delmastro (2004) prédisent l'effet des TI sur le nombre de niveaux hiérarchiques et sur la délégation des décisions dans les usines métallurgiques italiennes en 1997. Ces prédictions se fondent sur plusieurs modèles s'inspirant de la théorie des équipes et sur les modèles de décentralisation des incitations. Dans ces deux études empiriques, le nombre des employés est utilisée comme variable

explicative du nombre de niveaux hiérarchiques et de la délégation des décisions. Les auteurs n'abordent pas la question de l'influence des TI sur la taille des entreprises.

Pourtant, quelques études empiriques se sont efforcées d'analyser les liens entre l'informatisation et la taille des entreprises. Ces études ne font pas mention des modèles s'inspirant de la théorie des équipes et ignorent le rôle de l'incertitude de l'environnement dans la détermination de la taille des entreprises. Ceci fait apparaître un manque d'études empiriques se fondant sur les prédictions des modèles issus de la théorie des équipes quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises.

2) Un manque d'études empiriques relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises

Les études empiriques relatives aux liens entre informatisation et taille des entreprises ont une double caractéristique. D'une part, elles se fondent sur la théorie des contrats incomplets sans mentionner les modèles s'inspirant de la théorie des équipes et s'intéressent surtout aux frontières des firmes (Baker et Hubbard 2003). D'autre part, elles ignorent l'effet de l'incertitude de l'environnement sur la taille des entreprises alors qu'elles retiennent d'autres variables explicatives telles que les actifs physiques et les actifs humains (Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil 1994, Wenger 1999).

Plusieurs raisons nous semblent pouvoir expliquer ce manque d'études empiriques relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises. Premièrement, modèles s'inspirant de la théorie des équipes offrent des prédictions contradictoires quant aux effets de l'informatisation ou de l'incertitude de l'environnement sur l'organisation des activités administratives. Deuxièmement, les prédictions relatives aux liens entre informatisation et taille optimale des activités administratives sont ambiguës car l'informatisation peut faire diminuer la taille optimale d'une entité décisionnelle tout en faisant augmenter le nombre de ces unités. Troisièmement, les prédictions quant aux liens entre informatisation et taille des entreprises ne sont pas claires car l'informatisation peut faire diminuer la taille optimale des activités administratives tout en faisant augmenter la taille optimale des activités de production.

Nous avons vu lors de ce chapitre que les modèles s'inspirant de la théorie des équipes donnent des prédictions contradictoires quant aux effets de l'incertitude de l'environnement sur l'organisation optimale des activités administratives. Le tableau ci-dessous donne une synthèse des principaux résultats obtenus.

Modèles	Variables représentant l'incertitude de l'environnement	Effet de l'incertitude sur la taille et l'organisation des activités administratives	Conditions nécessaires à l'existence de cet effet
Aoki (1986)	Volatilité h du choc u affectant le coût de production des ateliers	L'efficacité de la coordination décentralisée est renforcée	
Aoki (1990)	Volatilité ρ et variance des chocs σ_i^2	Le temps optimal d'apprentissage des ateliers (t_1^*) diminue avec ρ et augmente avec σ_i^2	
Geanakoplos et Milgrom (1991)	Variance $1/r_i$ du choc γ affectant le coût de production des ateliers	La hiérarchie intermédiaire comprend un plus grand nombre de managers	
Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004)	Dispersion σ_y^2 et volatilité σ_ε^2 des préférences des consommateurs	La taille optimale des activités administratives augmente avec σ_y^2 et diminue avec σ_ε^2	Pas de rémunération des agents
Meagher, Orbay et Van Zandt (2002)	Dispersion σ_y^2 des préférences des consommateurs	La taille optimale des activités administratives diminue quand la capacité de traitement τ et la volatilité σ_ε^2 sont constants	Rémunération des agents
Meagher, Orbay et Van Zandt (2002)	Volatilité σ_ε^2 des préférences des consommateurs	En l'absence de volatilité, la taille optimale des activités administratives est limitée	Rémunération des agents
Meagher, Orbay et Van Zandt (2004)	Dispersion σ_y^2 et volatilité σ_ε^2 des préférences des consommateurs	La taille optimale des activités administratives augmente puis diminue avec la dispersion σ_y^2 , elle diminue avec la volatilité σ_ε^2	Rémunération des agents

Tableau 2.2 : Synthèse des effets de l'incertitude de l'environnement sur l'organisation des activités administratives

Une analyse empirique des conséquences de l'informatisation et de l'incertitude de l'environnement sur la taille des entreprises nous semble donc être justifiée de plusieurs points de vue. D'une part, elle est originale au regard des études empiriques inspirées des modèles de théorie des équipes et des études liant TI et taille des entreprises dans la cadre de la théorie des contrats incomplets. En effet, elle constitue une première tentative de vérification empirique des prédictions issues des modèles présentées lors de ce chapitre. D'autre part, comme nous le verrons lors de la troisième partie, elle peut aussi vérifier les prédictions relatives aux liens entre TI, environnement et taille des activités administratives découlant du modèle original exposé lors de la deuxième partie.

Lors de cette troisième section, nous avons vu que la théorie des équipes et les modèles d'agrégation de l'information offrent une analyse incomplète de l'informatisation des activités administratives. D'une part, ces modèles étudient les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité d'un point de vue particulier où l'informatisation et l'environnement sont des facteurs de contingence qui font évoluer l'organisation optimale. D'autre part, les études empiriques sont peu nombreuses et elles n'envisagent pas tous les aspects de ces modèles. Il s'agit donc d'enrichir l'analyse économique des activités administratives à la fois d'un point de vue théorique et d'un point de vue empirique.

CONCLUSION DU CHAPITRE 2

Dans ce chapitre, nous avons étudié les facteurs contribuant à l'évolution des caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives. La première section a montré que l'incertitude de l'environnement et l'amélioration de la capacité de traitement font évoluer l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes. La deuxième section a montré que l'incertitude de l'environnement et l'amélioration de la capacité de traitement font évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information. La troisième section a montré que ces modèles offrent une analyse incomplète de l'informatisation des activités administratives.

D'une part, ces modèles retiennent un point de vue particulier pour étudier les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité. En effet, l'informatisation et l'environnement sont assimilés à des facteurs de contingence qui font évoluer l'organisation optimale des activités administratives. D'autre part, les études empiriques vérifiant les prédictions de ces modèles sont rares et elles ne traitent pas de l'ensemble des aspects de ces

modèles. Ainsi, les études empiriques liant informatisation et taille des entreprises s'inspirent de la théorie des contrats incomplets et ne tiennent pas compte de l'incertitude de l'environnement. La deuxième partie retient de nouveaux aspects dans l'analyse économique des activités administratives. Elle décrit les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité ignorés par les modèles issus de la théorie des équipes.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Lors de cette première partie, nous avons retracé l'analyse économique des activités administratives telle qu'elle est envisagée par les principaux modèles de la théorie des équipes et par les principaux modèles d'agrégation de l'information. Le chapitre 1 montre la diversité des caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives. Le chapitre 2 décrit l'évolution de ces caractéristiques en présence de l'incertitude de l'environnement et de l'amélioration de la capacité de traitement des agents. Ce dernier chapitre a mis en évidence l'incomplétude de l'analyse de l'informatisation des activités administratives.

D'une part, les modèles considérés dans cette première partie ne traitent pas du rôle de l'organisation dans la diffusion des TI, ne disent rien du seuil d'informatisation nécessaire à l'obtention du changement organisationnel et négligent les liens entre environnement, efficacité et informatisation. D'autre part, les études empiriques vérifiant les prédictions des modèles sont rares et elles ne concernent pas les liens entre l'informatisation, l'incertitude de l'environnement et la taille des entreprises.

La deuxième partie se propose de traiter de ces nouveaux aspects de l'analyse économique des activités administratives non abordés par les modèles présentés lors de cette première partie. Elle aboutit à des prédictions originales quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives. La troisième partie se propose de tester empiriquement les liens entre environnement, informatisation et taille des entreprises. Elle contribue à vérifier la validité des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes et par notre modèle présenté lors de la deuxième partie.

DEUXIEME PARTIE : L'ANALYSE ECONOMIQUE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES : NOUVEAUX ASPECTS

La première partie a montré que les modèles s'inspirant de la théorie des équipes envisagent les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience d'un point de vue particulier. L'informatisation et l'incertitude de l'environnement sont des facteurs contingents qui impliquent une modification de l'organisation optimale des activités administratives. Cette deuxième partie consacrée aux nouveaux aspects de l'analyse économique des activités administratives a pour but d'apporter un complément aux résultats des modèles recensés lors de la première partie. Elle considère notamment le rôle de l'organisation dans la diffusion des TI et cherche quel est le seuil d'amélioration de la capacité de traitement des agents à atteindre pour obtenir une évolution de l'organisation des activités administratives.

Pour ce faire, le chapitre 3 apporte une innovation sur le plan méthodologique en introduisant une définition de l'efficience distincte de celle donnée par Radner (1993). Selon lui, une organisation est efficiente quand il n'est pas possible de diminuer le nombre des agents sans faire augmenter le délai. D'après nous, l'efficience est définie comme étant le délai minimal d'agrégation d'une certaine quantité d'information par un même nombre d'agents. Plusieurs modalités d'organisation des activités administratives sont comparées à l'aide de ce critère pour mettre en évidence divers déterminants du délai d'agrégation de l'information. Nous verrons que l'efficience des activités administratives dépend de leur organisation, mais aussi de leur environnement (nombre de données à traiter).

Le chapitre 4 étudie les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives qui n'ont pas été abordés par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. L'effet des TI sur l'efficience diffère suivant les structures auxquelles s'applique l'informatisation, ce qui a une influence sur l'ampleur de leur diffusion. De plus, le changement organisationnel apparaît au-delà d'un certain seuil d'amélioration de la capacité de traitement des agents. Ce changement prend des formes diverses telles que la modification des liens entre les agents où l'évolution de leur nombre. Enfin, l'augmentation de la quantité des données à traiter fait augmenter le délai et suscite l'informatisation, voire le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai. Le modèle apporte de nouvelles prédictions quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives.

CHAPITRE 3 : ORGANISATION, ENVIRONNEMENT ET EFFICIENCE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES

Le chapitre précédent a montré que les modèles s'inspirant de la théorie des équipes abordent les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité d'un point de vue particulier. Dans ces modèles, l'informatisation et l'environnement sont des facteurs de contingence qui font évoluer l'organisation optimale des activités administratives. Le présent chapitre considère les liens entre l'organisation, l'environnement et l'efficacité des activités administratives dans le cadre du modèle de Radner (1993). D'abord, nous retenons une nouvelle définition de l'efficacité des activités administratives en l'assimilant au délai. Nous utilisons le modèle de Radner (1993) pour comparer plusieurs sortes d'organisations des activités administratives afin de mettre en évidence les facteurs affectant leur efficacité.

Ce chapitre considère des structures hiérarchiques où un agent possède un seul supérieur. Van Zandt (1998) distingue trois catégories de hiérarchies suivant qu'elles soient uniformes, équilibrées ou irrégulières. Dans le premier cas, chaque agent dans la structure possède le même nombre de subordonnés. Dans le deuxième cas, chaque agent du même niveau hiérarchique possède le même nombre de subordonnés. Dans le troisième cas, tout agent situé dans un niveau hiérarchique suffisamment élevé possède des subordonnés dans chaque niveau hiérarchique inférieur. Enfin, une organisation hiérarchique ne prend pas toujours la forme d'un arbre. Bolton et Dewatripont (1994) considèrent l'existence de la chaîne de montage où chaque agent ne possède qu'un subordonné.

Lors de ce chapitre, nous rechercherons les déterminants du délai d'agrégation de l'information propres à différentes sortes d'organisation. Dans un premier temps, nous rechercherons les facteurs impliquant une différence dans le délai respectif des hiérarchies régulières et irrégulières. Dans un deuxième temps, nous rechercherons les facteurs impliquant une différence dans le délai respectif de la chaîne de montage, des hiérarchies régulières et des hiérarchies irrégulières. Dans un troisième temps, nous rechercherons les déterminants du délai d'agrégation de l'information des hiérarchies équilibrées et fortement déséquilibrées.

I) La recherche des facteurs impliquant une différence dans le délai d'agrégation de l'information respectif des hiérarchies régulières et irrégulières

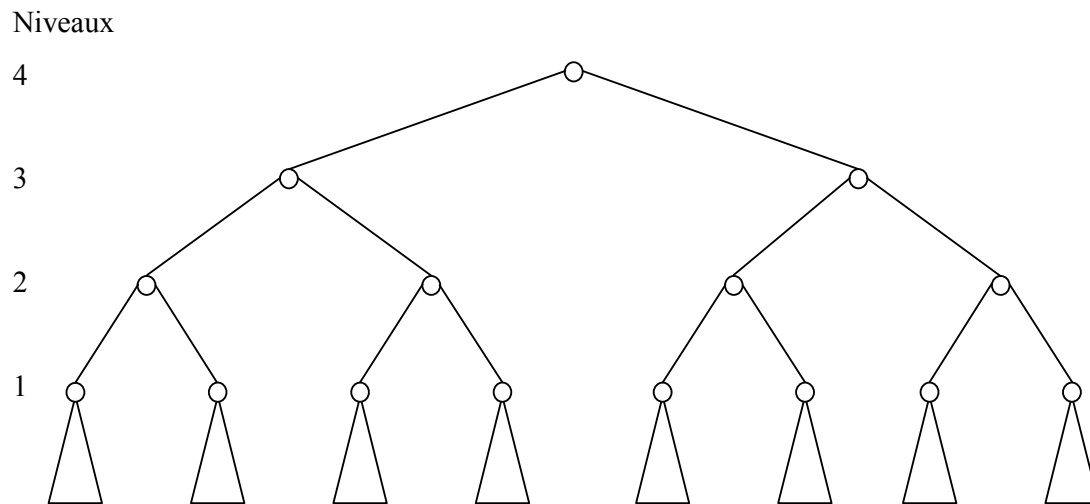
La recherche des déterminants du délai d'agrégation de l'information respectif des hiérarchies régulières et irrégulières suppose de pouvoir comparer ces structures administratives à l'aide d'un critère adéquat. Le modèle de Radner (1993) présente l'avantage de donner une norme de référence en montrant que l'organisation efficiente des activités administratives prend la forme d'une structure irrégulière. Cette organisation résulte d'un processus de réduction d'une hiérarchie régulière qui comporte trop d'agents et n'est pas efficiente pour traiter les données. Radner (1993) donne aussi une formule déterminant le délai de cette structure irrégulière pour un nombre quelconque d'agents et de données à traiter.

Néanmoins, l'analyse de Radner (1993) ne compare pas directement le délai de traitement de structures régulières et irrégulières comportant le même nombre d'agents. Elle ne permet pas de savoir pourquoi une structure irrégulière est plus rapide qu'une hiérarchie régulière pour traiter une certaine quantité d'information. Un autre critère d'efficience est nécessaire pour comparer directement ces deux structures et expliquer les différences dans leurs délais de traitement respectifs. Dans un premier temps, l'efficience est définie comme le délai minimal de traitement d'une certaine quantité d'information avec un même nombre d'agents.

Dans un deuxième temps, ce critère est utilisé pour comparer le délai de traitement de 30 données par une hiérarchie régulière et une structure irrégulière comportant 6 agents. Conformément aux résultats de Radner (1993), cette dernière structure est efficiente car elle agrège les données plus rapidement que la hiérarchie régulière. Plus généralement, la comparaison des hiérarchies régulières et irrégulières montre que la différence de délai résulte des modalités d'affectation des données et de coordination de l'action des agents.

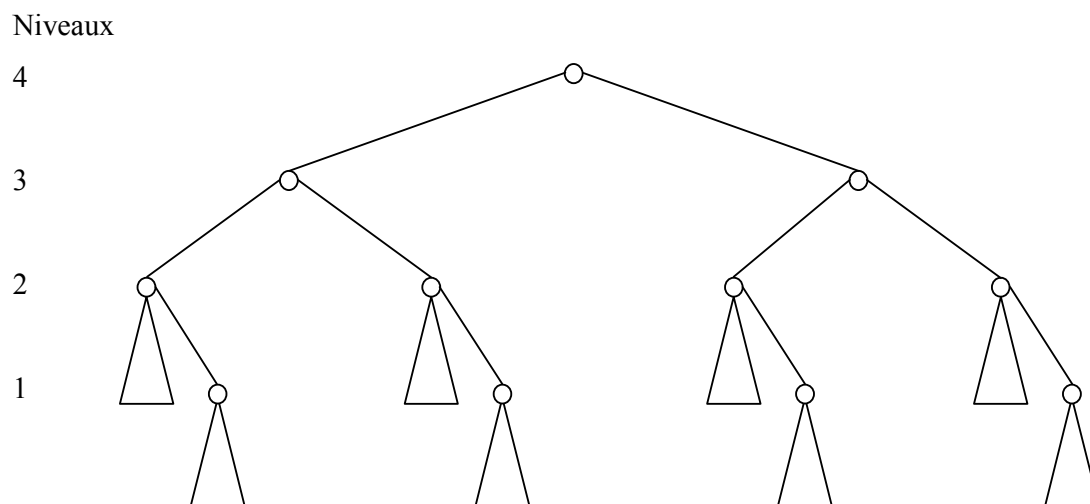
A- Une nouvelle définition de l'efficience : le délai minimal de traitement d'une certaine quantité d'information avec un même nombre d'agents

Selon Radner (1993) : « Une organisation est efficiente quand il n'est pas possible de réduire le nombre des agents sans faire augmenter le délai et vice versa ». L'auteur utilise ce critère pour montrer que la hiérarchie régulière n'est pas efficiente pour traiter une certaine quantité d'information. Si l'on suppose que la base de la hiérarchie se consacre au traitement des 40 données initiales et qu'elle comporte 8 agents traitant chacun 5 données, il faut ajouter 3 niveaux hiérarchiques comportant respectivement 4, 2 et 1 agents pour obtenir le résultat final. Sachant qu'un agent met une période pour lire une donnée, les 15 agents agrègent 40 données en 11 périodes comme l'indique le graphique 3.1a.



Graphique 3.1a : Hiérarchie régulière avant réduction

Radner (1993) montre qu'il est possible de traiter ces quarante données dans un délai plus bref en utilisant un plus petit nombre d'agents. Un processus de réduction de la hiérarchie régulière permet d'obtenir une hiérarchie efficiente. Lors de la première étape, on élimine un subordonné pour chaque membre du niveau 2 qui doit à présent traiter les données auparavant affectées à son subordonné. Le graphique 3.1b montre le résultat de l'application de cette première étape de réduction.

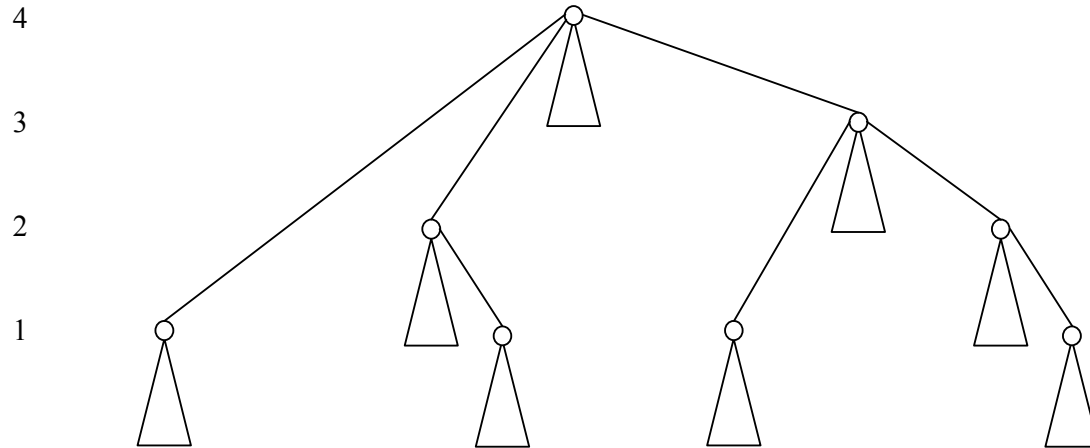


Graphique 3.1b : Hiérarchie régulière après une étape de réduction

Quatre agents ont été supprimés au niveau 1, réduisant le nombre total des agents à 11. Chaque agent du niveau 2 reçoit 5 données initiales, plus le résultat de l'activité d'un agent de niveau 1. De même, la deuxième étape de réduction consiste à supprimer deux agents du niveau 2 et à faire traiter leurs données par les deux agents du niveau 3. Enfin, la troisième

étape de réduction consiste à supprimer l'un des deux agents du niveau 3 et à faire traiter leurs données par l'agent du niveau 4. Le graphique 3.1c montre la structure obtenue après l'application de ces deux nouvelles étapes de réduction.

Niveaux



Graphique 3.1c : Hiérarchie régulière après trois étapes de réduction

Le nombre des agents a été réduit de 15 à 8 et le nombre de périodes de 11 à 8. Le réseau de traitement de l'information représenté dans le graphique 3.1c n'est plus une hiérarchie régulière. L'agent au niveau 4 possède des subordonnés immédiats à chaque niveau. Ce phénomène se répète pour les niveaux 2 et 3. Radner (1993) montre que cette structure irrégulière est efficiente pour traiter 40 données alors que la hiérarchie régulière ne l'est pas. Selon lui, le délai minimal pour traiter N données avec P agents est donné par la formule suivante : $\text{Min } C = \lfloor N/P \rfloor + \lceil \log_2(P + N \bmod P) \rceil$ (1)

Le tableau ci-dessous illustre cette formule pour $N = 40$ et P variant entre 1 et 40.

P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	20	30	40
Min C	40	21	15	12	11	10	9	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7
Efficience	E	E	E	E	E	E	E	E				E					

Tableau 3.1 : Délai minimal et efficience des réseaux traitant 40 données avec un nombre d'agents compris entre 1 et 40

Ce tableau permet de constater que la hiérarchie régulière comportant 15 agents n'est pas efficiente pour traiter 40 données. Il est possible de diviser le nombre des agents par trois tout en conservant le même délai ($P' = 5$, $C = 11$), ou bien de réduire le délai de quatre périodes tout en retirant trois agents ($C' = 7$, $P'' = 12$). Au contraire, la structure irrégulière traitant 40

données avec 8 agents en 8 périodes est efficiente : quand on retire un agent de la structure, le délai augmente d'une période.

Une autre manière de vérifier l'efficacité de cette structure est de remarquer qu'il faut lui ajouter 4 agents pour diminuer le délai d'une période. Il est même possible que l'ajout d'agents à la structure ne permette pas de réduire le délai. Le passage de 12 à 40 agents ne fait pas diminuer le délai de traitement des 40 données : celui-ci reste de 7 périodes. Enfin, ce tableau montre qu'il existe plusieurs sortes d'organisations efficaces pour traiter 40 données. La structure avec un agent traitant les données en 40 périodes est efficiente au même titre que celle traitant les données en 7 périodes avec 12 agents.

Le critère d'efficacité de Radner (1993) permet de déterminer le délai minimal de traitement d'une certaine quantité d'information avec un nombre donné d'agents. Suivant ce critère, les structures administratives efficaces sont irrégulières et les structures régulières ne sont pas efficaces. L'inconvénient de ce critère d'efficacité est qu'il ne permet pas de déterminer pourquoi une structure régulière est moins rapide qu'une structure irrégulière pour traiter N données avec P agents.

La comparaison directe des performances de la hiérarchie régulière et de la structure irrégulière pour traiter N données avec P agents suppose l'utilisation d'un nouveau critère d'efficacité. A présent, l'organisation efficace est celle dont le délai est minimal pour traiter une certaine quantité d'information à l'aide d'un même nombre d'agents. Ce critère ne modifie pas les résultats obtenus par Radner (1993) : les hiérarchies irrégulières restent efficaces car elles sont plus rapides que les hiérarchies régulières. Néanmoins, la comparaison directe des structures fait apparaître l'origine de ces différences de délai : l'affectation des données aux agents et la coordination de leur action.

B- La différence de délai entre les hiérarchies régulières et irrégulières résulte des modalités d'affectation des données et de coordination de l'action des agents

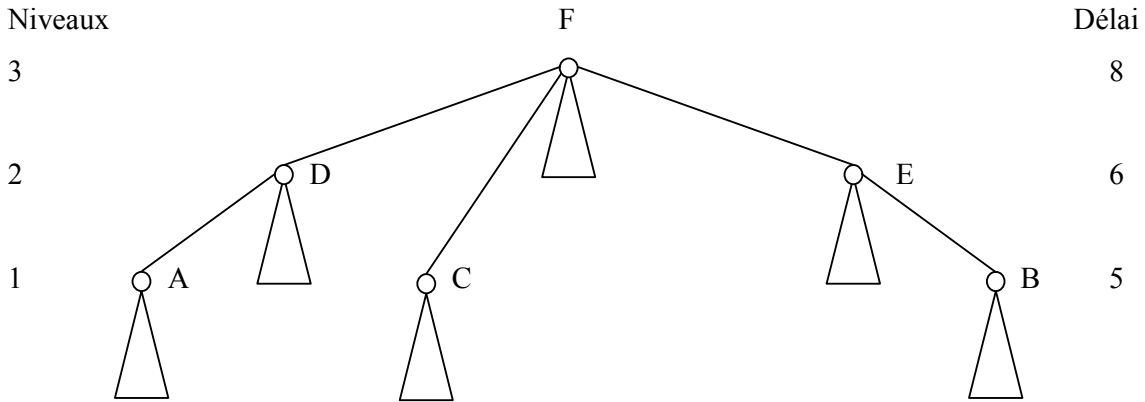
Le nouveau critère d'efficacité retenu permet de comparer le délai de traitement de la structure irrégulière et celui de la hiérarchie régulière. Ce critère permet également de préciser l'origine des différences de délai de traitement des diverses structures considérées. Il apparaît dans un premier temps que la hiérarchie régulière n'est pas efficace en raison des problèmes d'affectation des données et de coordination de l'action des agents.

Ceci nous conduit à envisager dans un deuxième temps l'existence d'une nouvelle structure : la hiérarchie égalitaire. Dans cette structure, l'ensemble des agents participe à la lecture des données initiales, tout comme dans la structure irrégulière. Cette structure est donc plus rapide

que la hiérarchie régulière de Radner (1993), mais n'est pas efficace en raison d'une mauvaise coordination de l'action des agents.

1) *La hiérarchie régulière n'est pas efficace en raison des problèmes d'affectation des données et de coordination de l'action des agents*

Supposons que le problème consiste à utiliser 6 agents pour agréger le plus rapidement possible 30 données. Si l'on se réfère à l'équation (1) ci-dessus, le délai minimal de traitement est de 8 périodes. Ce délai correspond bien à celui de la structure irrégulière comme le montre le graphique ci-dessous où chaque agent traite 5 données.



Graphique 3.2 : Structure irrégulière traitant 30 données en 8 périodes avec 6 agents

La seule manière d'agencer 6 agents pour obtenir une hiérarchie régulière consiste à les répartir entre deux niveaux, autrement dit à mettre en liaison un supérieur et cinq subordonnés. Dans une hiérarchie régulière, le délai est déterminé par la formule suivante¹ :

$$HR = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + \sum_{h=2}^H s_h \quad (2)$$

Quand 6 agents traitent 30 données, chacun des 5 agents du niveau 1 doit lire 6 données, puis l'agent F doit lire les 5 rapports envoyés par ses subordonnés à la fin de la période 6. En utilisant l'équation (2), on obtient un délai de 11 périodes :

$$HR = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + s_2 = \left\lfloor \frac{30}{5} \right\rfloor + 5 = 11.$$

¹ La présence de l'arrondi inférieur dans l'équation (2) se justifie par le fait que les q_1 agents du niveau 1 ne peuvent pas toujours traiter le même nombre de données initiales. Par exemple, quand 29 données sont réparties entre les 5 agents du niveau 1, l'agent A traite 5 données et les agents B, C, D et E traitent chacun 6 données. Dans ce cas, le délai de traitement de 29 données par 6 agents est de 10 périodes.

La hiérarchie est moins rapide que la structure irrégulière pour traiter 30 données avec 6 agents. Un délai de 11 périodes² lui est nécessaire, alors que la structure irrégulière n'a besoin que de 8 périodes. L'origine de cette différence de trois période est plus apparente quand on examine le diagramme temporel retraçant l'activité de la hiérarchie régulière. Dans ce diagramme, chaque ligne retrace l'action d'un agent au cours des périodes de temps successives. La lettre \mathcal{L} montre qu'un agent se consacre à la lecture d'une donnée initiale, les autres lettres indiquent le traitement d'un rapport envoyé par un autre agent.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
B	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
C	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
D	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
E	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
F							A	B	C	D	E

Tableau 3.2 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 30 données par une hiérarchie régulière comportant 6 agents

L'examen du tableau 3.2 montre que la hiérarchie régulière comporte des périodes d'inactivité superflues pouvant s'expliquer par deux phénomènes. D'une part, l'agent F reste inactif durant 6 périodes alors qu'il pourrait prendre part à la lecture des données initiale. D'autre part, l'agent F est le seul à être actif durant les cinq dernières périodes, alors qu'une partie de son travail aurait pu être prise en charge par certains des agents inactifs. Il existe donc deux sources de périodes d'inactivité superflues : l'une réside dans une affectation inadéquate des données initiales, l'autre réside dans une mauvaise coordination de l'action des agents.

Ceci nous conduit à prendre en compte une nouvelle structure de traitement de l'information : la hiérarchie égalitaire. Dans cette structure, les données initiales sont traitées par les 6 agents. En conséquence, le nombre de périodes d'inactivité superflues est plus faible que dans la hiérarchie régulière, mais il reste plus élevé que dans la structure irrégulière en raison de la persistance des problèmes de coordination de l'action des agents. La hiérarchie égalitaire est donc plus rapide que la hiérarchie régulière mais elle n'est pas efficiente.

² L'équation (2) suppose que les N données initiales font l'objet d'une répartition quasiment équilibrée entre les q_1 agents du niveau 1. Pourtant, il est possible de réduire le délai de 11 à 9 périodes avec une répartition déséquilibrée des données où A traite 4 données, B traite 5 données, C traite 6 données, D traite 7 données et E traite 8 données. La répartition déséquilibrée des données entre les agents sera considérée plus tard dans ce chapitre dans le cas des structures fortement déséquilibrées.

2) *La hiérarchie égalitaire est plus rapide que la hiérarchie régulière mais n'est pas efficiente en raison des problèmes de coordination de l'action des agents*

La répartition inadéquate des données entre les agents engendre des périodes d'inactivité superflues dans la hiérarchie régulière. Une organisation plus rapide est obtenue lorsque les données sont réparties équitablement entre les agents. Dans la hiérarchie égalitaire, cinq données sont affectées à chacun des six agents, ce qui modifie la formule du délai au regard

de celle retenue dans le cas de la hiérarchie régulière. Au lieu de $HR = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + \sum_{h=2}^H s_h$ (2),

$$\text{on a : } HE = \left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \sum_{h=2}^H s_h \quad (3)$$

Dans une hiérarchie égalitaire, le délai de traitement de 30 données avec 6 agents est de 10 périodes, soit une réduction du délai d'une période par rapport à la hiérarchie régulière. Le diagramme temporel ci-dessous décrit l'activité des agents dans la hiérarchie égalitaire.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
B	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
C	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
D	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
E	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
F	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	A	B	C	D	E

Tableau 3.3 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 30 données par une hiérarchie égalitaire comportant 6 agents

Bien que la hiérarchie égalitaire soit plus rapide que la hiérarchie régulière, elle n'est pas efficiente. La structure irrégulière est plus rapide pour traiter les données avec 6 agents ($C = 8$ contre $HE = 10$). Le diagramme temporel représenté par le tableau 3.3 montre l'existence de périodes d'inactivité superflues issues d'une mauvaise coordination de l'action des agents. Ainsi, l'agent F agrège seul les cinq rapports communiqués par les autres agents tandis que ces derniers restent inactifs.

Une organisation plus rapide est obtenue lorsque l'action des agents est mieux coordonnée. Il est possible de réduire le délai de traitement en modifiant les flux d'information entre les agents de manière à leur faire lire simultanément les rapports qui leur sont communiqués. Si l'agent C envoie toujours son rapport à l'agent F, l'agent A envoie à présent son rapport à

l'agent D et l'agent B envoient son rapport à l'agent E. Par conséquent, les agents D, E et F travaillent en parallèle durant la période 6 pour lire un rapport. Enfin, l'agent F lit les rapports envoyés par D et E lors des périodes 7 et 8. On retrouve la structure irrégulière décrite par le graphique 3.2 qui est la plus rapide pour traiter les données.

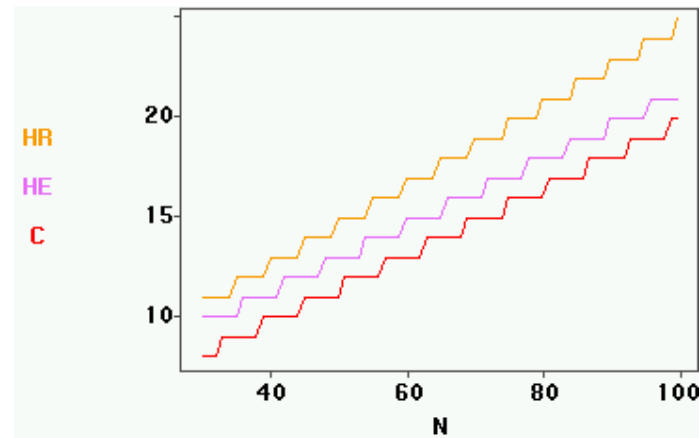
Le diagramme temporel ci-dessous montre que cette structure irrégulière ne comporte que 13 périodes d'inactivité. L'examen des tableaux 3.2 et 3.3 fait apparaître respectivement 31 et 25 périodes d'inactivité dans la hiérarchie régulière et dans la hiérarchie égalitaire. Ces deux dernières structures sont donc caractérisées par la présence de 18 et de 12 périodes d'inactivité superflues impliquant des délais de traitement plus longs. Ces périodes d'inactivité expliquent la différence de trois périodes entre le délai de la hiérarchie régulière et celui de la structure irrégulière. Elles expliquent également la différence de deux périodes entre le délai de la hiérarchie égalitaire et celui de la structure irrégulière.

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}			
B	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}			
C	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}			
D	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	A		
E	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	B		
F	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	C	D	E

Tableau 3.4 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 30 données par une structure irrégulière comportant 6 agents

Ainsi, la comparaison de la hiérarchie régulière et de la hiérarchie égalitaire montre que les problèmes d'affectation des données impliquent un délai de traitement plus long d'une période dans la première structure (HR = 11 contre HE = 10). La comparaison de la hiérarchie égalitaire et de la structure irrégulière montre que les problèmes de coordination de l'action des agents impliquent un délai de traitement plus long de deux périodes dans la première structure (HE = 10 contre C = 8). Au regard du critère d'efficacité constitué par le délai de traitement, le classement des trois structures est sans ambiguïté.

Ce classement reste valable quand la quantité des données à traiter augmente. Ceci accroît l'importance du problème d'affectation des données et accentue la différence de délai entre la hiérarchie régulière et la hiérarchie égalitaire. Le graphique ci-dessous illustre ce phénomène quand six agents doivent traiter entre 30 et 100 données.



Graphique 3.3 : Délais de traitement de la structure irrégulière, de la hiérarchie égalitaire et de la hiérarchie régulière comportant 6 agents et traitant entre 30 et 100 données

Le fait de définir l'efficacité comme le délai de traitement d'une certaine quantité de données par un même nombre d'agents a permis de comparer plusieurs structures administratives. Cette comparaison a mis en évidence deux déterminants de l'efficacité. Premièrement, l'affectation inadéquate des données aux agents explique la différence de délai entre la hiérarchie régulière et la hiérarchie égalitaire. Deuxièmement, une mauvaise coordination de l'action des agents explique la différence de délai entre la hiérarchie égalitaire et la structure irrégulière.

Il existe cependant d'autres structures permettant l'agrégation d'une certaine quantité d'information. Ainsi, Bolton et Dewatripont (1994) mentionnent l'existence de la chaîne de montage dans un contexte différent de celui de Radner (1993). Selon eux, le choix entre la hiérarchie régulière et la chaîne dépend de l'importance respective des coûts de communication et des gains de spécialisation. L'étude de cette structure administrative dans l'optique d'agrégation de l'information retenue par Radner (1993) a pour but de rechercher les déterminants de son délai par rapport à celui des hiérarchies régulières et irrégulières.

II) La recherche des facteurs impliquant une différence dans le délai respectif de la chaîne de montage, des hiérarchies régulières et des hiérarchies irrégulières

La chaîne de montage est rarement évoquée dans les modèles consacrés aux activités administratives qui se concentrent essentiellement sur les arborescences hiérarchiques. Quelques auteurs se sont pourtant efforcés de déterminer dans quelles conditions le choix d'une organisation prenant la forme d'une chaîne de montage est avantageux. Kennedy (1994) compare une structure plate où un seul agent résout un problème avec une structure en série où plusieurs agents résolvent un problème. Le choix de cette dernière structure se justifie par des gains de spécialisation supérieurs aux coûts de communication entre les agents.

Bolton et Dewatripont (1994), puis Van Zandt (1998) comparent la chaîne de montage et la hiérarchie régulière dans le cadre d'une problématique de traitement répété. Celle-ci fait reposer l'organisation optimale du traitement de l'information sur la maximisation des gains de spécialisation et la minimisation des coûts de communication. Dans les modèles existants, le choix de la structure optimale ne se fonde pas sur la comparaison directe du délai de traitement. Nous verrons donc dans un premier temps que le délai n'est pas le critère essentiel pour mesurer les performances respectives de la hiérarchie et de la chaîne de montage.

Cependant, rien n'empêche de considérer la chaîne de montage dans le cadre du modèle de calcul de Radner (1993). Il est donc possible de calculer le délai de traitement de la chaîne de montage pour un certain nombre d'agents et de données. La comparaison du délai de cette structure avec celui des hiérarchies régulières et irrégulières est alors envisageable, de même que la recherche des origines des différences de délai. Nous verrons dans un deuxième temps que le nombre des agents et la quantité des données à traiter déterminent le délai de la chaîne de montage par rapport à ceux des hiérarchies régulières et des structures irrégulières.

A- Dans les modèles existants, le délai n'est pas le critère essentiel pour mesurer les performances respectives de la hiérarchie et de la chaîne de montage

Bolton et Dewatripont (1994), puis Van Zandt (1998) comparent la chaîne de montage et la hiérarchie régulière dans le cadre d'une problématique de traitement répété. Celle-ci fait reposer l'organisation optimale du traitement de l'information sur des critères distincts de la minimisation du délai. La maximisation de la fréquence de traitement des mêmes données et la minimisation du nombre de liens de communication deviennent des critères essentiels pour juger de l'efficacité des différentes structures hiérarchiques.

En l'absence de coûts variables de communication, Bolton et Dewatripont (1994) montrent que la chaîne de montage peut être supérieure à la hiérarchie avec spécialisation. En effet, la

chaîne de montage comporte un plus petit nombre d'agents et donc un plus petit nombre de liens, impliquant un coût fixe de communication moins élevé. Plus généralement, il apparaît dans un premier temps que le choix entre la hiérarchie avec spécialisation et la chaîne de montage repose sur la comparaison des gains de spécialisation et des coûts de communication. En présence de coûts variables de communication, les opérations ne sont plus associatives. La charge de travail d'un agent est d'autant plus importante qu'il prend connaissance de rapports contenant un grand nombre de données initiales. Van Zandt (1998) montre qu'un nouveau critère apparaît pour juger de l'efficacité de l'organisation des activités administratives : le nombre d'opérations. Dans un deuxième temps, il apparaît que le choix entre la hiérarchie et la chaîne de montage repose sur la minimisation du nombre d'opérations.

1) Le choix entre la hiérarchie avec spécialisation et la chaîne de montage repose sur la comparaison des gains de spécialisation et des coûts de communication

Le modèle de Bolton et Dewatripont (1994) considère le traitement répété par une structure fixée d'une série de cohortes de M données se succédant à intervalles de temps réguliers. Un agent i met un temps τ pour traiter une donnée et consacre $\tau(\lambda \cdot n_i + a \cdot m_i)$ périodes au traitement de n_i rapports contenant m_i données. A l'inverse du modèle de Radner (1993), les opérations de traitement ne sont pas associatives. Le temps de traitement est d'autant plus long que les rapports contiennent de nombreuses données initiales.

De plus, ces auteurs supposent que l'augmentation de la fréquence de traitement x^* permet de réduire le temps de traitement τ des agents. Quand un agent traite y_i données et lit n_i rapports contenant m_i données à une fréquence x^* , il est actif durant $\tau(x^*) \cdot (y_i + \lambda \cdot n_i + a \cdot m_i)$ périodes. Le recrutement de nouveaux agents diminue la charge de travail des agents déjà en place et rend le traitement plus rapide en raison d'un gain de spécialisation associé à l'augmentation de la fréquence de traitement.

Le problème de configuration du réseau consiste à obtenir la maximisation de la fréquence de traitement (ou encore la minimisation de la charge de travail maximale) tout en minimisant les coûts de communication. Deux principes d'organisation ont été mis en évidence par Bolton et Dewatripont (1994). Le premier principe souligne les gains apportés par la délégation du traitement de l'information vers des agents situés plus bas dans la hiérarchie. Le deuxième principe montre que le nombre minimal de liens de communication est obtenu dans le cadre des structures hiérarchiques. Elles sont efficaces tant qu'il n'est pas possible de réduire le nombre de lien sans augmenter la charge de travail d'un agent.

Parmi ces organisations hiérarchiques figurent la pyramide régulière et la chaîne de montage. Dans ce qui suit, la pyramide régulière est définie par le fait que chaque agent est en relation avec n subordonnés. De plus, cette pyramide est supposée comporter H niveaux hiérarchiques au-dessus d'un niveau 0 où les agents se spécialisent dans le traitement d'une seule donnée. Sachant que la cohorte à traiter comporte M données et que le niveau 0 comporte n^H agents, on a : $M = n^H$.

Bolton et Dewatripont (1994) définissent la chaîne de montage de la manière suivante. « Une chaîne de montage est un réseau pyramidal tel que tous les agents traitent le même nombre de données et où il n'existe qu'un seul agent dans chaque couche ». Chaque agent y traite également une donnée, mais $M - 1$ agents traitent également le rapport envoyé par leur subordonné. Les auteurs procèdent à une comparaison des performances de la chaîne de montage et de la pyramide régulière lorsque les agents sont spécialisés dans le traitement d'une donnée.

Lorsque les coûts variables de communication n'existent pas ($a = 0$), le choix de l'une de ces deux structures repose sur la comparaison des gains de spécialisation et des coûts de communication. Dans la chaîne de montage, $M - 1$ agents traitent une donnée et lisent un rapport ce qui implique un gain de spécialisation moins important que dans la pyramide régulière. Dans cette dernière, les n^H agents du niveau 0 traitent chacun une seule donnée, mais les coûts de communication entre ce niveau et les H niveaux supérieurs sont beaucoup plus forts que dans la chaîne de montage. Cette dernière est choisie quand l'économie sur les coûts de communication est supérieure à la perte associée à une spécialisation moins poussée. En l'absence de coûts de communication variables ($a = 0$), la chaîne de montage et la pyramide régulière sont efficaces tant qu'il n'est pas possible de réduire le nombre de lien sans augmenter la charge de travail d'un agent. Le délai ne joue donc pas de rôle dans la définition de l'efficacité des structures hiérarchiques. Le temps de traitement total ne constitue qu'une mesure des gains de spécialisation et des coûts de communication.

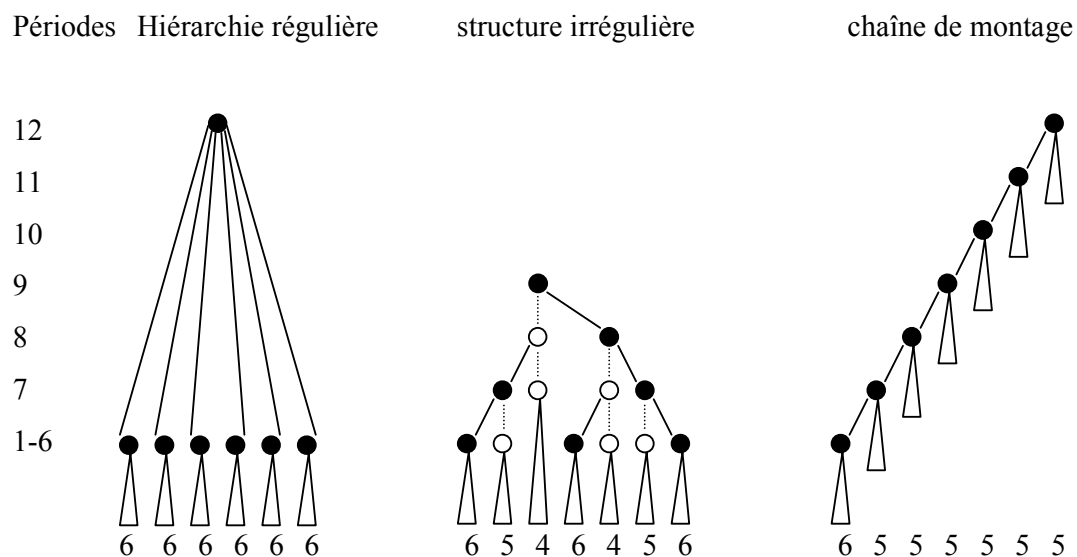
Lorsque les coûts variables de communication existent ($a > 0$), la chaîne de montage présente un nouveau défaut par rapport à la pyramide régulière. Elle implique un plus grand nombre de transferts des mêmes données entre les agents avant d'atteindre le sommet. La charge de travail du sommet hiérarchique devient donc plus importante que celle de l'agent chargé de lire le premier rapport.

La prise en compte du caractère non associatif des opérations a des conséquences sur le type de structure administrative choisie. Bolton et Dewatripont (1994) évoquent la possible existence d'une organisation hybride efficace, suite à la création de nouveaux liens venant

réduire la charge de travail des agents dans la chaîne de montage. Van Zandt (1998) utilise le modèle de calcul de Radner (1993) afin de déterminer l'efficacité respective de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie irrégulière et de la chaîne de montage. Pour un nombre d'agents, de données et une fréquence de traitement identiques, il montre que la structure efficace est celle qui minimise le nombre d'opérations.

2) *Le choix entre la hiérarchie et la chaîne de montage repose sur la minimisation du nombre d'opérations*

Van Zandt (1998) utilise le modèle de calcul de Radner (1993) pour donner un caractère plus concret à l'analyse de Bolton et Dewatripont (1994). L'exemple retenu est celui de l'agrégation de 36 données par 7 agents accomplissant chacun une charge de travail correspondant au traitement de six données ou de six rapports. Le graphique 3.4 permet de comparer trois organisations différentes du traitement de l'information : la hiérarchie régulière, la structure irrégulière et la chaîne de montage.



Graphique 3.4 : Trois procédures de calcul utilisant le modèle de Radner (1993) avec 7 agents et une fréquence de traitement de 1/6 pour $n = 36$

Ces trois réseaux présentent des caractéristiques similaires quant au nombre et à la charge de travail des agents, à la quantité des données à traiter et à la fréquence de traitement des cohortes. La manière dont est organisé le traitement d'une cohorte de 36 données dans chacun d'entre eux est pourtant bien différente. Dans la hiérarchie régulière, le sommet hiérarchique lit les rapports envoyés par ses six subordonnés chargés de traiter six données initiales chacun.

Cette séparation du traitement et de la lecture ainsi que la répartition équilibrée des données initiales sont spécifiques à la hiérarchie régulière.

Dans la chaîne de montage, la répartition des données est déséquilibrée de manière à égaliser la charge de travail des agents. Le premier lit 6 données initiales et les six autres lisent 5 données initiales plus le rapport envoyé par leur subordonné. La lecture des données et des rapports par un même agent caractérise également la structure irrégulière où la répartition des données initiales est encore plus déséquilibrée que dans la chaîne. Dans le graphique 3.4, l'agent dont l'activité s'achève lors de la période 9 n'est en réalité actif que durant 6 périodes. Il consacre 4 périodes à lire les données initiales et traite les rapports de ses deux subordonnés lors des périodes 8 et 9.

Contrairement aux apparences, l'organisation du traitement de l'information la plus efficiente n'est pas la structure irrégulière. D'une part, l'hypothèse du traitement répété des cohortes fait reposer l'efficacité sur une combinaison des coûts managériaux et de la fréquence de traitement. D'autre part, les opérations de lecture des rapports ne sont pas associatives et les managers ne sont pas salariés, mais sont rémunérés à l'activité. Ceci explique que la minimisation du délai ne soit pas un critère pertinent pour juger de l'efficacité de l'organisation du traitement de l'information. L'organisation efficiente est celle qui minimise le nombre d'opérations pour une même fréquence de traitement des cohortes.

Il s'agit à présent de calculer le nombre d'opérations dans les trois réseaux pour déterminer lequel minimise le coût managérial. D'après Van Zandt (1998), le nombre d'opérations est déterminé par l'équation suivante : $n + \lambda \cdot m + d_r \cdot T_m$, où n représente le nombre de données lues, où m représente le nombre de messages communiqués et où T_m représente la taille totale de ces messages. Dans les trois réseaux, la même quantité de données initiales est traitée et le même nombre de messages est communiqué. Les différences dans le nombre d'opérations sont dues au nombre de données initiales contenu dans les messages.

Dans la hiérarchie régulière, le sommet reçoit 6 messages contenant chacun 6 données initiales, la taille totale des messages est donc de 36. Dans la structure irrégulière, les trois agents du premier niveau envoient des messages de taille 6. Les deux agents du deuxième niveau envoient des messages de taille 11. Enfin, le sommet hiérarchique reçoit un message de taille 21. La taille totale des messages est donc de 61. Dans la chaîne de montage, le premier agent envoie un message de taille 6, le deuxième agent envoie un message de taille 11, etc. Enfin, le sommet hiérarchique reçoit un message de taille 31. La taille totale des messages est donc de 111.

La hiérarchie régulière se caractérise donc par la plus petite taille des messages, par le plus petit nombre d'opérations et par les coûts managériaux les plus faibles. La fréquence de traitement des trois réseaux étant identique, la hiérarchie régulière est efficiente et les deux autres structures lui sont strictement inférieures. De nouveau, le critère d'efficacité retenu pour comparer la hiérarchie régulière, la hiérarchie irrégulière et la chaîne n'est pas la minimisation du délai.

Le graphique 3.4 permet pourtant de comparer le délai respectif de ces trois structures lors de l'agrégation de 36 données par 7 agents dont la charge de travail est identique. Il apparaît que la structure irrégulière est plus rapide que la hiérarchie régulière ou que la chaîne de montage qui font jeu égal. Van Zandt (1998) ne donne cependant aucune formule pour calculer le délai de la chaîne de montage et n'explique pas l'origine de la différence de délai constatée par rapport à la structure irrégulière. Comme nous allons le voir, ces différences s'expliquent par le nombre des agents et par la quantité des données à traiter.

B- Le nombre des agents et la quantité des données à traiter déterminent le délai de la chaîne de montage par rapport à celui des autres structures hiérarchiques

La recherche des déterminants du délai suppose de pouvoir utiliser le modèle de calcul de Radner (1993) de manière à comparer la chaîne de montage avec la hiérarchie régulière, la hiérarchie égalitaire et avec la structure irrégulière. Une fois calculé le délai d'agrégation de 30 données par la chaîne de montage comportant 6 agents, il est possible de savoir si cette structure est efficiente ou non. Dans le deuxième cas, le fait de disposer d'une formule permettant de calculer ce délai pour un nombre quelconque de données et d'agents est utile pour expliquer l'origine des différences de délai.

Dans un premier temps, le problème du calcul du délai d'agrégation de N données dans une chaîne de montage comportant P agents est résolu. Dans un deuxième temps, il apparaît que le nombre de données à traiter influence l'efficacité de la chaîne lorsque le nombre des agents est faible. Dans un troisième temps, l'augmentation du nombre des agents rend la chaîne fortement inefficace quand la quantité des données à traiter est relativement faible.

1) *Le calcul du délai d'agrégation de N données dans une chaîne de montage comportant P agents*

Soit une chaîne de montage comportant P agents où le premier d'entre eux traite L données initiales. Dans une structure parfaitement coordonnée et sans problème d'affectation des données, l'agent B traite en parallèle L données durant L périodes et lit le rapport de l'agent A durant la période L + 1. L'agent C traite en parallèle L + 1 données durant L + 1 périodes et lit le rapport de l'agent B durant la période L + 2. En poursuivant le raisonnement jusqu'à l'agent P, celui-ci traite L + P - 2 données durant L + P - 2 périodes et lit le rapport de l'agent P - 1 durant la période L + P - 1. On obtient donc un délai D de L + P - 1 périodes. Cette situation est décrite par le graphique 3.5.

Délai

L + P - 1

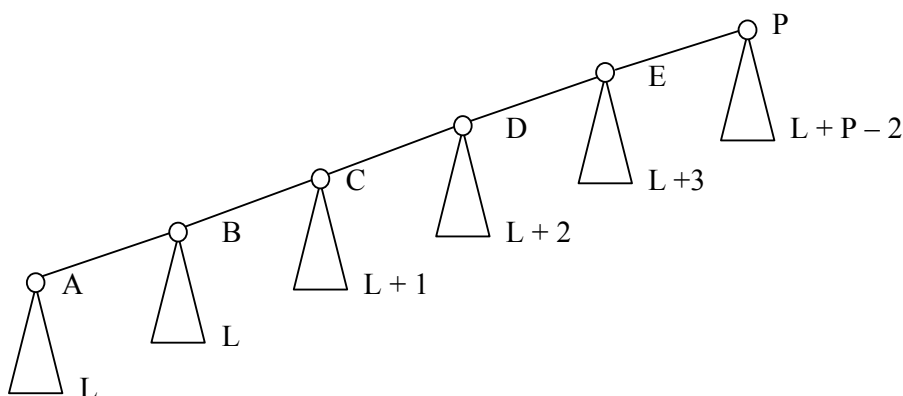
L + 4

L + 3

L + 2

L + 1

L



Graphique 3.5 : Chaîne de montage traitant Nmax données en L + P - 1 périodes avec P agents

Le nombre maximal de données initiales traitées par P agents dans un délai de L + P - 1 périodes est :

$$N_{\max} = L + L + (L+1) + (L+2) + \dots + (L+P-2) = LP + \sum_{i=1}^{P-2} i = LP + \frac{(P-1) \cdot (P-2)}{2}$$

L'étape suivante du raisonnement consiste à calculer Nmax et D pour L = 1. Si N > Nmax, on calcule Nmax et D pour L = 2 et ainsi de suite. Pour obtenir le délai, on conserve la plus petite valeur de L pour laquelle la condition N < Nmax est vérifiée. Il est donc possible de calculer le délai D nécessaire à la chaîne de montage pour agréger N données avec P agents. Ces formules peuvent être appliquées au cas particulier où la chaîne doit traiter 30 données à l'aide de 6 agents. La comparaison du délai de la chaîne avec ceux des autres structures

permet de montrer l'influence du nombre de données à traiter sur l'efficacité de la chaîne de montage.

2) *Le nombre de données à traiter influence l'efficacité de la chaîne de montage pour un petit nombre d'agents*

Quel est le délai nécessaire à la chaîne de montage pour agréger 30 données avec 6 agents ? Est-elle plus rapide que la hiérarchie régulière ou que la hiérarchie égalitaire ? Est-elle aussi rapide que la structure irrégulière ? Une chaîne de montage devant traiter $N = 30$ données avec $P = 6$ agents fait lire au premier agent $L = 4$ données initiales et permet de traiter au plus $N_{\max} = 34$ données dans un délai $D = 9$. Cette situation est décrite le diagramme temporel figurant dans le tableau 3.5 ci-dessous.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
B	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	A				
C	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	B			
D	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	C		
E	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	D	
F	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					E

Tableau 3.5 : Diagramme temporel de la chaîne de montage traitant 30 données en 9 périodes avec 6 agents

Dans ce diagramme, on remarque que la chaîne de montage comporte structurellement 15 périodes d'inactivité auxquelles viennent s'ajouter les 4 périodes que l'agent F aurait pu consacrer au traitement de 4 données supplémentaires. Ce sont ces quatre périodes d'inactivité superflues qui expliquent la différence de délai entre la chaîne de montage ($D = 9$) et la structure irrégulière ($C = 8$). Bien que la chaîne de montage ne soit pas efficace pour traiter 30 données avec 6 agents, elle est plus rapide que la hiérarchie régulière ou que la hiérarchie égalitaire. Rappelons que le délai de traitement des données pour ces deux dernières structures est respectivement de 11 périodes et de 10 périodes.

Une autre manière de montrer que la chaîne n'est pas une organisation efficace pour traiter 30 données avec 6 agents consiste à mettre en évidence un problème de coordination quand l'agent A lit trois données initiales au lieu de quatre. On vérifie aisément que pour $L = 3$, $N_{\max} = 28 < N$. Le délai correspondant ($D = 8$) ne peut pas être obtenu. Néanmoins, comme

le montre le tableau 3.6, il est possible d'atteindre un délai $D = 9$ en introduisant un problème de coordination entre les agents D et E.

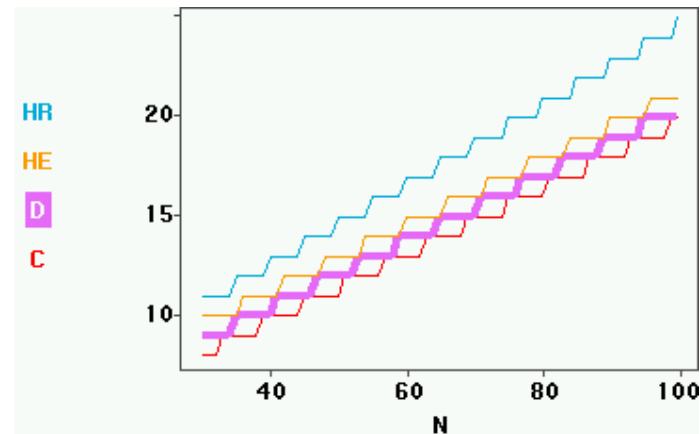
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}						
B	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	A					
C	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	B				
D	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	C			
E	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	D	
F	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	E

Tableau 3.6 : Diagramme temporel de la chaîne de montage mal coordonnée traitant 30 données en 9 périodes avec 6 agents

Qu'advierait-il dans le cas où les six agents de la chaîne de montage auraient à traiter non plus 30, mais 34 données ? D'après le diagramme temporel du tableau 3.5, le délai de traitement de la chaîne reste $D = 9$ car les quatre périodes d'inactivité superflues disparaissent. Seules demeurent 15 périodes d'inactivité, tout comme dans la structure irrégulière. En appliquant la formule donnée par l'équation (1), on vérifie que ce délai de 9 périodes correspond bien à celui de la structure irrégulière.

La chaîne de montage est donc efficiente dans le cas particulier du traitement de 34 données avec 6 agents. A l'aide de l'équation (1), on vérifie aisément qu'il en va de même pour 33 données. Mais quand 32 données doivent être agrégées, le délai de la chaîne de montage est de 9 périodes, alors que celui de la structure irrégulière est de 8 périodes. Enfin, quand 35 données doivent être agrégées, les délais respectifs de la chaîne et de la structure irrégulière sont de 10 et de 9 périodes ce qui signifie que la chaîne n'est plus efficiente.

L'efficacité de la chaîne de montage dépend donc la quantité des données initiales à traiter. Ceci est confirmé pour un plus grand nombre de données par le graphique 3.6 ci-dessous.



Graphique 3.6 : Délais de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie égalitaire, de la chaîne de montage et de la structure irrégulière pour traiter de 30 à 100 données avec 6 agents

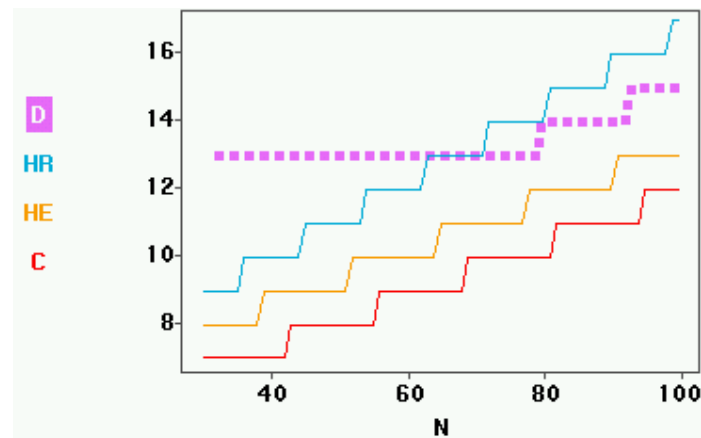
Jusqu'à présent, l'analyse de l'efficacité de la chaîne de montage s'est limitée au cas particulier d'une structure comportant 6 agents. La chaîne est-elle toujours efficace quand le nombre des agents est plus grand ? La partie suivante montre que l'augmentation du nombre des agents dans la chaîne de montage s'accompagne d'une augmentation du délai. La chaîne est la structure la moins rapide lorsque le nombre de données à traiter est relativement faible.

3) *L'augmentation du nombre des agents rend la chaîne de montage fortement inefficace quand la quantité des données à traiter est relativement faible*

Un raisonnement intuitif mené à partir de la formule du délai associée à la chaîne de montage conduit à anticiper son augmentation quand le nombre des agents est plus grand et que la quantité des données est relativement faible. Rappelons tout d'abord que $D = L + P - 1$, où P représente le nombre des agents et L le nombre de données initiales lues par l'agent A. Quand P est grand et que N est relativement faible, $L = 1$ et $D = P$. Afin de confirmer ce raisonnement, les graphiques 3.7 et 3.8 procèdent à une comparaison des délais de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie égalitaire, de la chaîne de montage et de la structure irrégulière composées respectivement de 13 et de 17 agents.

Le graphique 3.7 compare les délais des quatre structures utilisant 13 agents pour traiter entre 30 et 100 données. Les hiérarchies sont caractérisées par trois niveaux composés respectivement de 1, 3 et 9 agents. L'équation (1) permet d'obtenir le délai de traitement de

30 données initiales par la structure irrégulière. Les équations (2) et (3) permettent d'obtenir le délai de traitement de 30 données initiales par la hiérarchie régulière et par la hiérarchie égalitaire. On retrouve bien $C = 7$, $HE = 8$ et $HR = 9$ comme indiqué sur le graphique 3.7.

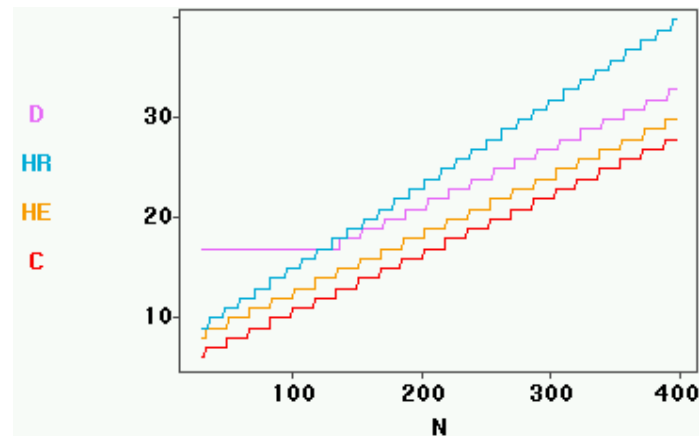


Graphique 3.7 : Délais de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie égalitaire, de la chaîne de montage et de la structure irrégulière pour traiter de 30 à 100 données avec 13 agents

L'analyse du délai de la chaîne de montage devient complexe, car l'effet du nombre relativement élevé des agents se conjugue avec l'augmentation de la quantité des données à traiter. Le délai initial de 13 périodes correspond au nombre des agents et est largement supérieur au délai des trois autres structures. L'augmentation de la quantité des données à traiter modifie progressivement cette situation. La chaîne devient plus rapide que la hiérarchie régulière quand 72 données doivent être traitées ($D = 13$ et $HR = 14$).

Un autre seuil intéressant est celui associé au traitement de 80 données. Le délai de la chaîne devient supérieur au nombre des agents car le nombre de données à traiter a franchi le seuil $N_{max} = 79$. Pour $N = 80$, $D = 14$. Par la suite, le délai augmente par sauts après que chaque seuil N_{max} ait été franchi.

Le graphique 3.8 compare les délais des quatre structures utilisant 17 agents pour traiter entre 30 et 400 données. Dans ce graphique, les hiérarchies sont caractérisées par trois niveaux composés respectivement de 1, 4 et 12 agents. L'équation (1) permet d'obtenir le délai de traitement de 30 données initiales par la structure irrégulière. Les équations (2) et (3) permettent d'obtenir le délai de traitement de 30 données initiales par la hiérarchie régulière et par la hiérarchie égalitaire. On retrouve bien $C = 6$, $HE = 8$ et $HR = 9$ comme indiqué sur le graphique.



Graphique 3.8 : Délais de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie égalitaire, de la chaîne de montage et de la structure irrégulière pour traiter de 30 à 400 données avec 17 agents

Quand le nombre de données à traiter est inférieur à 137, le délai de la chaîne de montage est toujours égal au nombre des agents. Faute d'avoir à traiter une quantité de données suffisamment importante, la chaîne est la structure la moins rapide. Cette situation est cependant appelée à évoluer avec l'augmentation de la quantité des données à traiter. Ainsi quand $N = 200$, le délai de la chaîne est de 21 périodes et se situe entre celui de la hiérarchie régulière ($HR = 23$) et celui de la hiérarchie égalitaire ($HE = 18$).

La comparaison du délai de la chaîne de montage avec ceux des trois autres structures administratives a donc mis en évidence deux nouveaux déterminants de l'efficacité des activités administratives. Premièrement, lorsque le nombre des agents est faible, la quantité des données à traiter a une influence sur l'efficacité de la chaîne de montage. Dans des conditions bien particulières, le délai de la chaîne de montage et celui de la structure irrégulière sont identiques. Deuxièmement, lorsque le nombre des agents est grand et que la quantité des données à traiter est relativement peu importante, le délai de la chaîne de

montage est égal au nombre des agents. Dans ce cas, la chaîne de montage devient beaucoup moins rapide que la hiérarchie régulière.

Il n'est donc pas possible de parvenir à un classement des performances de ces quatre organisations des activités administratives indépendant du nombre des agents ou de la quantité des données à traiter. De plus, la prise en compte d'un plus grand nombre d'agents fait apparaître de nouveaux problèmes. Dans la hiérarchie régulière ou dans la hiérarchie égalitaire, plusieurs agencements de ces agents sont envisageables, conduisant à des structures équilibrées ou déséquilibrées. Il s'agit à présent de rechercher les déterminants du délai d'agrégation de l'information des hiérarchies équilibrées et fortement déséquilibrées.

III) Les déterminants du délai d'agrégation de l'information des hiérarchies équilibrées et fortement déséquilibrées

Quand le nombre des agents est suffisamment grand, un nouveau facteur vient déterminer le délai dans la hiérarchie régulière et dans la hiérarchie égalitaire : le type de structure retenu. Par exemple, quand 31 agents sont disponibles pour traiter une certaine quantité d'information, plusieurs manières de les agencer sont envisageables. Une première possibilité consiste à répartir les agents entre les différents niveaux d'une hiérarchie équilibrée où les agents appartenant au même niveau ont le même nombre de subordonnés. Une deuxième possibilité consiste à agencer les agents dans une hiérarchie déséquilibrée, où les agents appartenant à un même niveau hiérarchique n'ont pas le même nombre de subordonnés.

Intuitivement, le délai est plus important dans une hiérarchie fortement déséquilibrée que dans une hiérarchie équilibrée car il est déterminé dans la première par l'agent recevant le plus grand nombre de rapports. Cet effet de structure associé au traitement des rapports affecte-t-il également le délai des hiérarchies régulières ? Nous verrons dans un premier temps que l'effet de structure affecte le délai dans les hiérarchies équilibrées quand la quantité des données à traiter est relativement faible. Dans un deuxième temps, nous verrons que les hiérarchies régulières ou égalitaires peuvent être fortement déséquilibrées et être fortement inefficaces.

A- L'effet de structure associé au traitement des rapports affecte le délai dans les hiérarchies équilibrées quand la quantité des données à traiter est relativement faible

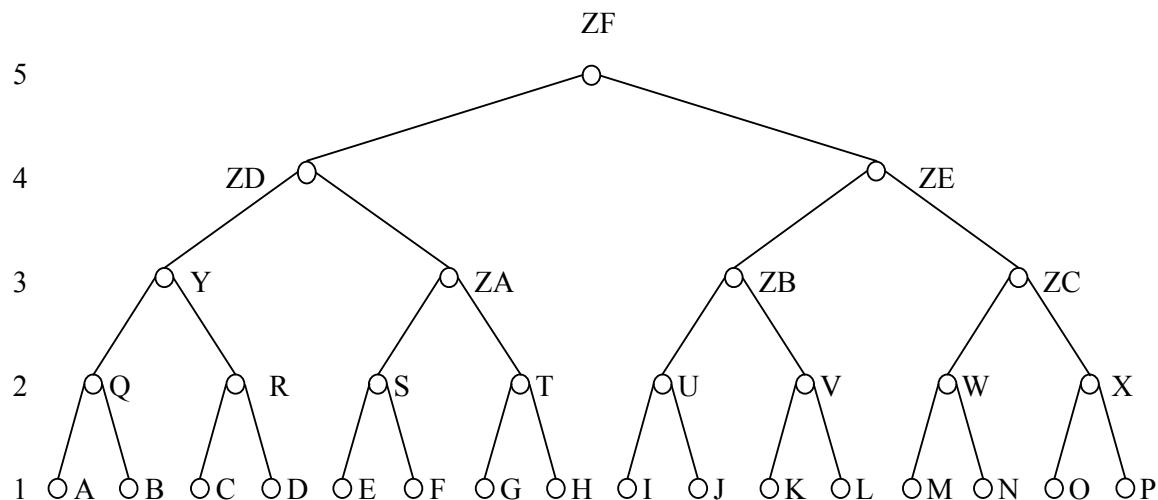
Supposons que le problème soit d'agencer 31 agents dans une structure hiérarchique équilibrée de manière à agréger 120 données le plus rapidement possible. Deux modalités différentes d'agencement de ces agents sont envisageables. Dans la hiérarchie « large », chaque agent possède cinq subordonnés et la structure comporte trois niveaux. Dans la

hiérarchie « étroite », chaque agent possède deux subordonnés et la structure comporte cinq niveaux. Existe-t-il un effet de structure associé au traitement des rapports et comment affecte-t-il ces deux organisations hiérarchiques ?

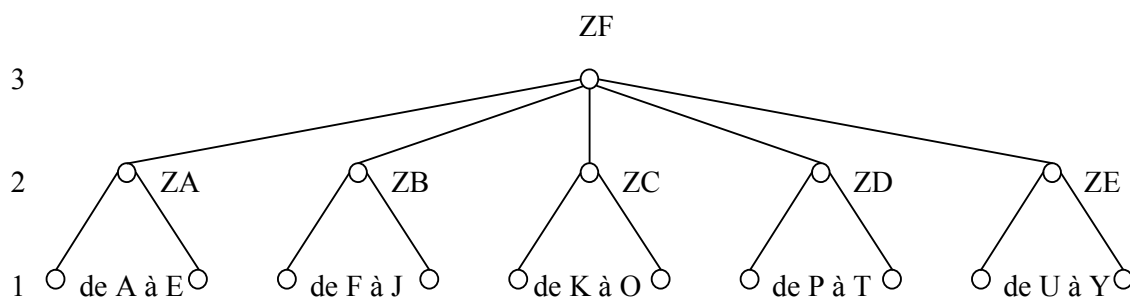
Dans un premier temps, les deux modalités d'agencement des agents sont exposées. Dans un deuxième temps, le calcul du délai d'agrégation respectif des hiérarchies égalitaires « larges » et « étroites » fait apparaître un effet de structure associé à l'agrégation des rapports. Dans un troisième temps, le calcul du délai d'agrégation respectif des hiérarchies régulières « larges » et « étroites » montre que l'effet disparaît avec l'augmentation du nombre de données.

1) *Deux modalités différentes d'agencement des agents : la hiérarchie « large » et la hiérarchie « étroite »*

Dans le cas particulier où 31 agents doivent agréger 120 données, deux solutions sont envisageables pour agencer ces agents dans une structure régulière. La première solution consiste à assigner deux subordonnés à chaque agent. Dans ce cas, la structure comporte cinq niveaux hiérarchique composés respectivement de 1, 2, 4, 8 et 16 agents. La deuxième solution consiste à assigner cinq subordonnés à chaque agent. Dans ce cas, la structure comporte trois niveaux hiérarchique composés respectivement de 1, 5 et 25 agents. Ces deux structures sont appelées par la suite hiérarchie « étroite » et hiérarchie « large » et sont représentées par les graphiques 3.9 et 3.10.



Graphique 3.9 : Hiérarchie régulière « étroite » avec 31 agents répartis entre cinq niveaux



Graphique 3.10 : Hiérarchie régulière « large » avec 31 agents répartis entre trois niveaux

Abstraction faite du nombre de données à traiter, la hiérarchie « étroite » est plus rapide que la hiérarchie « large ». Dans le premier cas, 8 périodes sont nécessaires pour agréger les différents rapports contre 10 périodes dans le deuxième cas. On s'attend donc a priori à ce que le délai d'agrégation des 120 données par les 31 agents soit systématiquement plus important dans les hiérarchies régulières ou égalitaires « larges ». Le calcul du délai de traitement associé à la hiérarchie égalitaire pour chacune de ces deux structures donne des résultats conformes à ces anticipations. Il existe donc un effet de structure lié à l'agrégation des rapports.

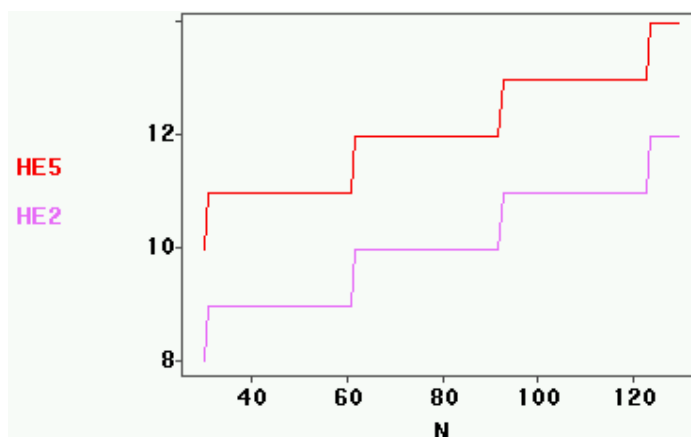
2) Le calcul du délai des hiérarchies égalitaires « larges » et « étroites » fait apparaître un effet de structure associé à l'agrégation des rapports

Le délai d'agrégation des 120 données par les 31 agents est-il systématiquement plus important dans les hiérarchies égalitaires « larges » que dans les hiérarchies égalitaires « étroites » ? Les formules des équations (2) et (3) permettent de calculer le délai respectif de la hiérarchie égalitaire « étroite » et de la hiérarchie égalitaire « large ».

$$HE2 = \left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \sum_{h=2}^H s_h = \left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \frac{q_1}{q_2} + \frac{q_2}{q_3} + \frac{q_3}{q_4} + q_4 = \left\lfloor \frac{120}{31} \right\rfloor + 2 + 2 + 2 + 2 = 11$$

$$HE5 = \left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \sum_{h=2}^H s_h = \left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \frac{q_1}{q_2} + q_2 = \left\lfloor \frac{120}{31} \right\rfloor + 5 + 5 = 13$$

Conformément aux attentes, le délai de la hiérarchie égalitaire « étroite » est inférieur au délai de la hiérarchie égalitaire « large ». Il s'agit à présent de vérifier si l'effet de structure se maintient pour d'autres quantités de données à traiter. Le graphique 3.11 ci-dessous montre que l'effet de structure s'applique à la hiérarchie égalitaire lorsque la quantité des données à traiter varie entre 31 et 130. Le délai de la hiérarchie égalitaire « large » est systématiquement supérieur de deux périodes à celui de la hiérarchie égalitaire « étroite ».



Graphique 3.11 : Comparaison du délai de la hiérarchie égalitaire « large » et de la hiérarchie égalitaire « étroite » pour traiter de 31 à 130 données avec 31 agents

Néanmoins, le calcul du délai d'agrégation respectif des hiérarchies régulières « larges » et « étroites » donne un résultat différent. L'effet de structure associé au délai d'agrégation des rapports disparaît avec l'augmentation du nombre de données à traiter.

3) *Le calcul du délai des hiérarchies régulières « larges » et « étroites » montre que l'effet de structure disparaît avec l'augmentation du nombre de données*

Le délai d'agrégation des 120 données par les 31 agents est-il systématiquement plus important dans les hiérarchies régulières « larges » que dans les hiérarchies régulières « étroites » ? A l'aide des formules des équations (2) et (3), on obtient :

$$HR2 = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + \sum_{h=1}^H s_h = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + \frac{q_1}{q_2} + \frac{q_2}{q_3} + \frac{q_3}{q_4} + q_4 = \left\lfloor \frac{120}{16} \right\rfloor + 2 + 2 + 2 + 2 = 15$$

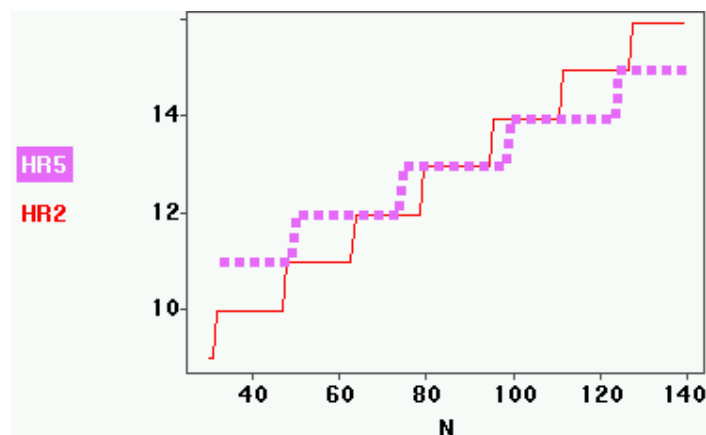
$$HR5 = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + \sum_{h=1}^H s_h = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + \frac{q_1}{q_2} + q_2 = \left\lfloor \frac{120}{25} \right\rfloor + 5 + 5 = 14$$

Eu égard à la présence d'un problème d'affectation des données et à l'existence d'un effet structure, le délai de la hiérarchie régulière « large » devrait être le plus fort. Ce n'est pourtant pas le cas : le délai le plus élevé est associé à la hiérarchie régulière « étroite ». L'effet de

structure n'opère pas dans le cas de la hiérarchie régulière alors qu'il se manifeste dans le cas de la hiérarchie égalitaire. Il s'agit à présent d'expliquer pourquoi cet effet ne joue pas dans la hiérarchie régulière et de vérifier si l'effet de structure existe pour d'autres quantités de données à traiter.

Le graphique 3.12 ci-dessous montre que l'effet de structure s'applique à la hiérarchie régulière lorsque la quantité des données à traiter varie entre 31 et 80. A l'aide des formules des équations (2) et (3), il est aisé de vérifier que lorsque 60 données doivent être agrégées par 31 agents, le délai de la structure « large » est de 12 périodes alors que celui de la structure étroite est de 11 périodes.

Néanmoins, lorsque la quantité des données à traiter devient plus importante, le délai de la hiérarchie régulière « étroite » devient supérieur à celui de la hiérarchie régulière « large ». Rappelons que lorsque 120 données doivent être agrégées par 31 agents, le délai de la structure « large » est de 14 périodes alors que celui de la structure étroite est de 15 périodes.



Graphique 3.12 : Comparaison du délai de la hiérarchie régulière « large » et de la hiérarchie régulière « étroite » pour traiter de 31 à 140 données avec 31 agents

L'augmentation de la quantité des données à traiter fait donc disparaître l'effet de structure associé au délai d'agrégation des rapports. Ceci s'explique par un autre aspect des structures « larges » et « étroites » : le nombre des agents chargés de la lecture des données initiales. Dans la hiérarchie régulière « large », les 31 agents sont répartis entre trois niveaux comportant respectivement 1, 5 et 25 agents. Dans la hiérarchie régulière « étroite », les 31 agents sont répartis entre cinq niveaux comportant respectivement 1, 2, 4, 8 et 16 agents.

Lorsque la quantité des données à traiter devient importante, le nombre des agents chargés de la lecture des données affecte plus fortement le délai que l'effet de structure associé à

l'agrégation des rapports. Ce phénomène ne se manifeste pas dans la hiérarchie égalitaire où les 31 agents prennent en charge la lecture des données initiales.

L'examen du graphique 3.12 permet de déterminer approximativement la quantité de données pour laquelle le délai de la hiérarchie régulière « large » devient définitivement inférieur à celui de la hiérarchie régulière « étroite ». Ce seuil est légèrement inférieur à 130 données. A l'aide des formules des équations (2) et (3), on vérifie qu'en cas de traitement de 128 données on obtient un délai de 16 périodes pour la hiérarchie « étroite » contre un délai de 15 périodes pour la hiérarchie « large ». En cas de traitement de 127 données, ces deux délais sont de 15 périodes.

L'effet de structure se manifeste donc de deux manières : via le délai d'agrégation des rapports envoyés par les subordonnés et via le délai de lecture des données initiales. Le deuxième phénomène est plus marqué quand la quantité des données à traiter est importante. Le premier phénomène se manifeste de manière plus spectaculaire quand la structure hiérarchique est fortement déséquilibrée. Dans ce cas, la hiérarchie régulière et la hiérarchie égalitaire deviennent fortement inefficaces en comparaison de la structure irrégulière.

B- Les hiérarchies régulières ou égalitaires peuvent être fortement déséquilibrées et donc être fortement inefficaces

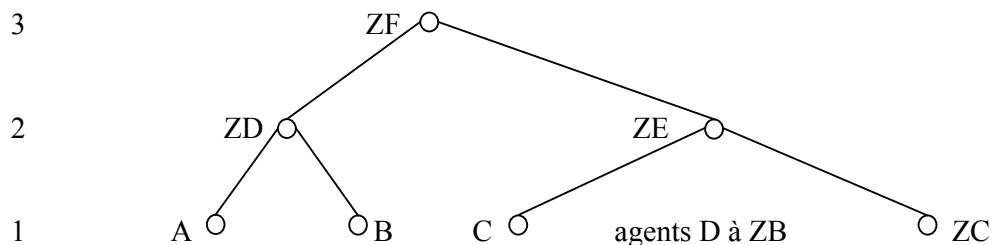
Intuitivement, le délai est fortement affecté lorsque la structure hiérarchique se caractérise par un fort déséquilibre. Quand un agent doit attendre durant plusieurs périodes le rapport d'un de ses subordonnés, le nombre de périodes d'inactivité devient supérieur à celui constaté dans une hiérarchie équilibrée. Par conséquent, le délai d'agrégation des données augmente et les hiérarchies fortement déséquilibrées sont fortement inefficaces.

Néanmoins, l'analyse du délai de ces structures fortement déséquilibrées se heurte à de nombreux obstacles. Premièrement, il apparaît que les formules permettant le calcul du délai dans la hiérarchie sont fausses quand celles-ci sont fortement déséquilibrées. Deuxièmement, nous verrons que seule une répartition déséquilibrée des données permet de minimiser le délai d'agrégation dans les structures hiérarchiques fortement déséquilibrées.

1) *Les formules permettant le calcul du délai sont fausses lorsque les hiérarchies sont fortement déséquilibrées*

L'effet de structure affecte le délai de traitement de la hiérarchie régulière fortement déséquilibrée telle que celle décrite par le graphique 3.13. Alors que l'agent ZD reçoit des messages envoyées par les agents A et B, l'agent ZE doit traiter à lui seul 26 rapports.

Niveaux



Graphique 3.13 : Hiérarchie fortement déséquilibrée comportant 31 agents

Supposons que cette hiérarchie composée de 31 agents doive traiter 120 données. L'application des formules des équations (2) et (3) donne les délais suivants pour la hiérarchie régulière et la hiérarchie égalitaire

$$HRD1 = \left\lfloor \frac{N}{q_1} \right\rfloor + \frac{q_1}{q_2} + q_2 = \left\lfloor \frac{120}{28} \right\rfloor + \frac{28}{2} + 2 = 4 + 14 + 2 = 20$$

$$HED1 = \left\lfloor \frac{N}{P} \right\rfloor + \frac{q_1}{q_2} + q_2 = \left\lfloor \frac{120}{31} \right\rfloor + \frac{28}{2} + 2 = 3 + 14 + 2 = 19$$

Or, l'examen du graphique 3.13 suffit à montrer que ces formules sont erronées. En effet, l'agent ZE doit agréger à lui seul 26 rapports. Indépendamment de la quantité des données à traiter, l'agrégation des rapports demande 27 périodes dans cette structure. Les formules des équations (2) et (3) ne s'appliquent donc qu'aux hiérarchies équilibrées.

Le délai obtenu est exact tant que le calcul d'une aire de contrôle moyenne est pertinent. Ce n'est pas le cas dans la hiérarchie décrite par le graphique 3.13 : son délai diffère fortement de celui d'une hiérarchie où deux agents possèdent chacun 14 subordonnés. Le délai de cette dernière est bien de 20 périodes comme indiqué ci-dessus (19 périodes pour la hiérarchie égalitaire).

Le problème consiste à déterminer sans formules quel est le délai minimal de la hiérarchie fortement déséquilibrée. La recherche de ce délai minimal s'avère complexe car il correspond à une répartition déséquilibrée des données initiales entre les agents.

2) *Seule une répartition déséquilibrée des données permet de minimiser le délai d'agrégation dans les structures hiérarchiques fortement déséquilibrées*

Nous avons déjà vu que le délai d'agrégation des rapports est de 27 périodes dans les hiérarchies fortement déséquilibrées représentées par le graphique 3.13. En ce qui concerne l'allocation des données, la situation est différente suivant que l'on considère la hiérarchie régulière ou la hiérarchie égalitaire.

Dans la hiérarchie régulière, 120 données doivent être réparties entre 28 agents. A priori, 20 agents lisent 4 données et 8 agents lisent 5 données. Cette affectation relativement équilibrée des données ne permet pas d'obtenir le délai minimal d'agrégation de l'information. Elle implique que l'agent ZE commence à lire les rapports lors de la période 5 et donne un délai $HRD1 = 4 + 26 + 1 = 31$.

Or, il est possible de réduire ce délai de 2 périodes avec une répartition des données plus déséquilibrée permettant à l'agent ZE de commencer à lire les rapports dès la période 3. Ainsi, quand $A = 3$, $B = 4$, $C = 2$, $D = 3$, $E = \dots = P = 4$ et $Q = R = \dots = ZC = 5$, le tableau 3.7 montre que le délai obtenu est $HRD1^* = 2 + 26 + 1 = 29$.

	1	2	3	4	5	6	7	8-28	29
A	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}						
B	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
C	\mathcal{L}	\mathcal{L}							
D	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}						
E-P	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
Q-ZC	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}				
ZD				A	B				
ZE			C	D	E	F	G	H-ZC	
ZF						ZD			ZE

Tableau 3.7 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière déséquilibrée comportant 31 agents et trois niveaux

En apparence, une répartition des données où C traite une donnée, D traite 2 données, A, B et E traitent 3 données et les autres agents traitent 4 ou 5 données permet de réduire ce délai à 28 périodes. Paradoxalement, cette structure ne serait pas efficiente au sens de Radner (1993) car il est possible de conserver le même délai tout en supprimant les agents C et D. En effet, la

lecture des trois données initiales peut être prise en charge par l'agent ZE sans augmentation du délai car le rapport de E ne lui parvient qu'au début de la période 4. Cette répartition des données où C ne lit qu'une donnée est cependant admissible dans le cas de la hiérarchie égalitaire où tous les agents se consacrent au traitement des données initiales durant la première période.

En ce qui concerne la hiérarchie égalitaire, la répartition relativement équilibrée des 120 données entre les 31 agents ne permet toujours pas d'obtenir le délai de traitement minimal. A priori, 27 agents lisent 4 données et 4 agents lisent 3 données. Au mieux, l'agent ZE commence à lire les rapports lors de la période 4.

Par conséquent, le délai est $HED1 = 3 + 26 + 1 = 30$.

Mais contrairement au cas de la hiérarchie régulière, le fait d'affecter une seule donnée à lire à un agent est admissible dans une hiérarchie égalitaire. Ce travail ne peut pas être effectué par les autres agents qui sont tous en activité durant la première période. Il est donc possible de réduire le délai de 2 périodes avec une répartition des données plus déséquilibrée permettant à l'agent ZE de commencer à lire les rapports dès la période 2.

Quand $A = 3, B = 4, C = 1, D = 2, ZD = ZF = 3, ZE = 1, E = \dots = U = 4$ et $V = \dots = ZC = 5$, le délai obtenu est $HED1^* = 1 + 26 + 1 = 28$.

Lors de cette troisième section, nous avons envisagé des structures comportant un plus grand nombre d'agents par rapport à celles étudiées lors des deux sections précédentes. Par conséquent, le délai de ces structures n'a pas pu être comparé avec celui de la chaîne de montage ou avec celui de la structure irrégulière. La formule de l'équation (1) permet de calculer le délai de la structure irrégulière comportant 31 agents. Ainsi :

$$\text{Min } C = \lfloor N/P \rfloor + \lceil \log_2 (P + N \bmod P) \rceil = \lfloor 120/31 \rfloor + \lceil \log_2 (31 + 120 \bmod 31) \rceil$$

$$\text{Min } C = 3 + \lceil \log_2 (58) \rceil = 3 + 6 = 9$$

En raison du grand nombre d'agents et de la quantité relativement faible de données à traiter, le délai de la chaîne de montage est égal au nombre des agents : $D = 31$.

Le tableau 3.8 contient le délai de traitement de 120 données par 31 agents obtenu pour ces huit structures. Conformément aux résultats de Radner (1993), la structure irrégulière est efficiente car elle est la plus rapide pour traiter 120 données avec 31 agents. La hiérarchie régulière n'est pas efficiente et la chaîne de montage est encore moins rapide que les structures hiérarchiques fortement déséquilibrées.

structure	irrégulière	HE2	HE5	HR5	HR2	HED1*	HRD1*	chaîne
délai	C = 9	11	13	14	15	28	29	D = 31

Tableau 3.8 : Délai d'agrégation de 120 données par 31 agents pour huit structures administratives régulières, irrégulières, équilibrées ou déséquilibrées.

L'analyse des déterminants du délai dans les structures hiérarchiques régulières confirme le rôle de l'organisation et de l'environnement dans l'efficacité des activités administratives. Premièrement, dans les hiérarchies équilibrées, l'effet de structure associé au traitement des rapports disparaît avec l'augmentation de la quantité des données à traiter. Deuxièmement, dans les hiérarchies fortement déséquilibrées, l'effet de structure est plus marqué et se concrétise par une forte augmentation du délai d'agrégation de l'information. Dans ce dernier type de hiérarchies, les formules permettant le calcul du délai ne s'appliquent plus du fait du déséquilibre de la structure et de la répartition des données initiales.

CONCLUSION DU CHAPITRE 3

Lors de ce chapitre 3, nous avons mis en évidence des liens entre organisation, environnement et efficience des activités administratives qui n'ont pas été envisagés par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes présentés lors de la première partie. Pour ce faire, nous avons innové d'un point de vue méthodologique en utilisant une définition de l'efficience distincte de celle retenue par Radner (1993). Selon cet auteur, une organisation est efficiente quand il n'est pas possible de réduire le nombre des agents sans faire augmenter le délai et vice versa. Selon nous, l'efficience est assimilée au délai minimal de traitement d'une certaine quantité d'information avec un même nombre d'agents.

Cette nouvelle définition de l'efficience nous permet d'utiliser le modèle de Radner (1993) pour mettre en évidence les facteurs impliquant une différence de délai entre la structure irrégulière (efficiente) et d'autres sortes d'organisation des activités administratives. Premièrement, les modalités d'affectation des données et de coordination de l'action des agents déterminent le délai respectif des structures hiérarchiques régulières et irrégulières. Deuxièmement, le nombre des agents et la quantité des données à traiter déterminent le délai de la chaîne de montage. Troisièmement, les modalités d'agencement des agents et la répartition des données déterminent le délai des structures hiérarchiques équilibrées et déséquilibrées. Ainsi, l'organisation des activités administratives est liée à leur efficience.

Le modèle de Radner (1993) permet aussi d'étudier l'effet de l'environnement sur l'efficience en faisant le lien entre la quantité des données à traiter et le délai. Nous avons vu que la chaîne de montage peut être aussi rapide que la structure irrégulière pour un nombre bien précis de données à traiter, mais aussi qu'elle est fortement inefficente quand le nombre des agents est grand et que le nombre des données à traiter est relativement faible. De plus, l'augmentation de la quantité des données à traiter fait plus que compenser l'effet de structure et rend la hiérarchie régulière « large » plus rapide que la hiérarchie régulière « étroite ». L'environnement est donc lié à l'efficience des activités administratives.

Il reste alors à déterminer quel est l'effet de l'informatisation sur l'efficience des différentes sortes d'organisation des activités administratives considérées dans ce chapitre. Le chapitre 4 se propose d'étudier les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives qui n'ont pas été envisagés par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes.

CHAPITRE 4 : INFORMATISATION, ORGANISATION, ENVIRONNEMENT ET EFFICIENCE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES

Lors de la première partie, nous avons vu que les modèles s’inspirant de la théorie des équipes considèrent les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité d’un point de vue particulier. En assimilant l’informatisation et l’environnement à des facteurs de contingence affectant l’organisation optimale des activités administratives, ils n’abordent pas certains aspects importants pour l’analyse économique des activités administratives. Lors du chapitre 3, nous avons vu que l’organisation et l’environnement ont une influence sur l’efficacité de plusieurs sortes d’activités administratives. Lors de ce chapitre, il s’agit d’étudier les aspects des relations entre informatisation, organisation, environnement et efficacité qui n’ont pas été envisagés par les modèles s’inspirant de la théorie des équipes.

Premièrement, ces modèles ne se préoccupent pas du rôle de l’organisation des activités administratives dans la diffusion des technologies. Selon nous, la diffusion des TI dépend de leur contribution à l’efficacité des activités administratives. Deuxièmement, ces modèles supposent que l’informatisation implique automatiquement le changement organisationnel. Selon nous, l’amélioration de la capacité de traitement des agents doit franchir un certain seuil pour engendrer le changement organisationnel. Troisièmement, ces modèles ne traitent pas directement de l’effet de l’environnement sur l’efficacité et sur l’informatisation des activités administratives. Selon nous, l’environnement affecte l’efficacité mais aussi l’informatisation sans engendrer systématiquement le changement organisationnel.

Nous étudierons dans un premier temps les conséquences de l’informatisation sur l’efficacité des activités administratives en l’absence du changement organisationnel. Nous étudierons dans un deuxième temps les conséquences de l’informatisation sur l’efficacité des activités administratives en présence du changement organisationnel. Nous verrons dans un troisième temps que l’environnement affecte l’efficacité, ce qui peut susciter l’informatisation et le changement organisationnel. Enfin, nous conclurons en formulant de nouvelles prédictions quant aux liens entre TI, environnement et taille des activités administratives.

I) Les conséquences de l’informatisation sur l’efficacité des activités administratives en l’absence du changement organisationnel

Lors du chapitre 2, nous avons vu que les modèles s’inspirant de la théorie des équipes ne disent rien des conséquences de l’informatisation sur l’efficacité des activités administratives en l’absence de changement organisationnel. Cette première section a pour objectif de

déterminer si la réduction du délai diffère suivant l'organisation à laquelle s'applique l'informatisation. Dans l'affirmative, l'organisation peut avoir une influence sur la diffusion des TI comme l'ont montré Brousseau et Rallet (1997, 1998), puis Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999). Pour répondre à cette question, nous considérons l'augmentation de la capacité de traitement d'un, puis de plusieurs agents dans les diverses organisations des activités administratives présentées lors du chapitre 3.

Quand l'informatisation concerne un agent, son effet sur le délai diffère suivant l'agent choisi dans une structure, mais aussi suivant la structure à laquelle appartient cet agent. Quand l'informatisation concerne plusieurs agents, le choix des agents et la structure ont également une influence sur le délai. Nous verrons dans un premier temps que la réduction du délai est importante quand l'informatisation est appliquée à un agent qui traite seul un grand nombre de données. Nous verrons dans un deuxième temps que l'informatisation de plusieurs agents fait apparaître une diminution du délai par paliers pouvant affecter la diffusion des technologies.

A- La réduction du délai est importante quand l'informatisation est appliquée à un agent qui traite seul un grand nombre de données

Dans la structure irrégulière considérée lors du chapitre précédent, le temps d'activité du sommet hiérarchique correspond au délai. Par conséquent, l'augmentation de la capacité de traitement d'un agent distinct du sommet hiérarchique n'a pas d'influence sur le délai. Nous allons voir que la réduction du délai obtenue consécutivement à l'informatisation dépend non seulement de l'agent choisi dans chaque structure, mais aussi du type de structure auquel cet agent appartient. Pour ce faire, nous allons considérer la multiplication par 13 de la capacité de traitement d'un agent puis son augmentation de 20%.

D'une part, il s'agit de mettre en évidence l'existence de limites à la diminution du délai propres à chaque structure. D'autre part, il s'agit de montrer que le pourcentage de diminution du délai est plus fort quand l'informatisation s'applique à un agent qui traite seul des données durant un grand nombre de périodes. Nous verrons dans un premier temps que la réduction du délai est très importante dans la hiérarchie fortement déséquilibrée et qu'elle est moins marquée dans la hiérarchie régulière « large ». Nous verrons dans un deuxième temps que la réduction du délai est faible dans la hiérarchie régulière « étroite » et qu'elle l'est encore plus dans la structure irrégulière.

1) *La réduction du délai est très importante dans la hiérarchie fortement déséquilibrée et est moins marquée dans la hiérarchie régulière « large »*

Nous avons vu lors du chapitre précédent que le délai élevé de la hiérarchie fortement déséquilibrée s'explique par le fait que l'agent ZE traite seul les rapports envoyés par ses 26 subordonnés. Par conséquent, une multiplication par 13 de sa capacité de traitement doit lui permettre de traiter ces 26 rapports en 2 périodes et doit réduire considérablement le délai. Le tableau ci-dessous montre les conséquences de l'informatisation de l'agent ZE.

	1	2	3	4	5	6	7		29
A	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}						
B	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
C	\mathcal{L}	\mathcal{L}							
D	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}						
E-P	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
Q-ZC	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}	\mathcal{L}				
ZD				A	B				
ZE			C	D	E-P	Q-ZC			
ZF						ZD	ZE		

Tableau 4.1 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière déséquilibrée comportant 31 agents et trois niveaux avec informatisation de l'agent ZE (dZE = 13) réduisant le délai de 22 périodes

L'informatisation de l'agent ZE contribue à réduire fortement le délai d'agrégation de l'information dans la hiérarchie régulière déséquilibrée. Initialement, ce délai était de 29 périodes. A présent, ZE peut agréger les rapports envoyés par les 12 agents situés entre E et P lors de la période 5 puis ceux envoyés par les 12 agents situés entre Q et ZC durant la période 6. Enfin, l'agent ZF traite le rapport envoyé par ZE durant la période 7. La diminution du délai de traitement est seulement de 22 périodes car l'agent ZE reste inactif durant l'essentiel des périodes 3 et 4. Il doit attendre que l'agent D ait fini de lire ses trois données et que l'agent E ait fini de lire ses quatre données. L'application d'un raisonnement semblable à la hiérarchie égalitaire déséquilibrée donne un délai de 7 périodes au lieu de 28 périodes antérieurement.

Enfin, comme le montre le tableau ci-dessous, l'augmentation de la capacité de traitement de ZE de 20% lui permet de traiter 1,2 données par périodes. Dans la hiérarchie régulière déséquilibrée, les 24 rapports envoyés par les agents allant de E à ZC sont traités en 20 périodes. La diminution du délai consécutive à l'informatisation de ZE est de 4 périodes, ce qui correspond à un pourcentage de diminution du délai de 13,79%.

données	1	1,2	2	3	4	5	6	7	8	26
périodes	0,833	1	1,666	2,5	3,333	4,166	5	5,833	6,666	21,666

Tableau 4.2 : Nombre de périodes nécessaires au traitement de diverses quantités de données lorsque la capacité de traitement augmente de 20% ($d = 1,2$)

La multiplication par 13 de la capacité de traitement d'un agent a des effets moins marqués dans la hiérarchie régulière « large » où les agents traitent cinq rapports. Le tableau ci-dessous montre que l'informatisation de l'agent ZF situé au sommet de la hiérarchie régulière « large » permet de réduire le délai de quatre périodes. Dans cette structure 25 agents sont utilisés pour lire 120 données, ce qui signifie que les agents A, F, K, P et U lisent 4 données alors que les 20 autres en lisent 5.

	1-4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
AFKPU	\mathcal{L}										
B à Y	\mathcal{L}	\mathcal{L}									
ZA		A	B	C	D	E					
ZB		F	G	H	I	J					
ZC		K	L	M	N	O					
ZD		P	Q	R	S	T					
ZE		U	V	W	X	Y					
ZF							ZA-ZE				

Tableau 4.3 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière « large » comportant 31 agents avec informatisation du sommet hiérarchique ($d_{ZF} = 13$) réduisant le délai de quatre périodes

Le fait de multiplier par 13 la capacité de traitement de l'agent ZF lui permet d'agréger cinq rapports en moins d'une période, ce qui implique un délai total de traitement compris entre 9 et 10 périodes. L'informatisation de tout autre agent implique une diminution du délai beaucoup plus modeste. L'informatisation d'un agent lisant cinq données ne réduit le délai

que d'une période. Il en va de même quand l'amélioration de la capacité de traitement concerne un agent situé entre ZA et ZE. L'informatisation d'un agent lisant quatre données ne réduit pas le délai. L'application d'un raisonnement identique à la hiérarchie égalitaire « large » fait passer le délai de 13 à 10 périodes.

Dans la hiérarchie régulière « large », l'augmentation de la capacité de traitement de 20% permet à l'agent ZF de traiter cinq rapports en 4,166 périodes, ce qui implique un délai de 13,166 périodes. Par conséquent, le pourcentage de diminution du délai est de 6%. La présence de temps morts donne un effet moindre à l'informatisation d'un des subordonnés de ZF. L'agent ZA reçoit les rapports envoyés par B, C, D et E au début de la période 6, ce qui implique qu'il reste inactif durant une partie de la période 5 après avoir traité le rapport envoyé par A. ZA achève son traitement au cours de la période 9 (8,333) et le délai total est de 13,333 périodes.

Ces résultats montrent que l'amélioration de la capacité de traitement influence d'autant plus fortement le délai que l'agent traite seul un grand nombre de données. De plus, la réduction du délai qu'il est possible d'obtenir via l'informatisation d'un agent est limitée par les caractéristiques de la structure à laquelle cet agent appartient. Dans la hiérarchie régulière « large », il est impossible de réduire le délai de cinq périodes car ZF ne peut pas prendre en compte instantanément les rapports envoyés par ses cinq subordonnés.

L'analyse des conséquences de l'informatisation sur le délai de la hiérarchie régulière « étroite » et de la structure irrégulière vient confirmer ces résultats. Il apparaît que la réduction du délai est faible dans la hiérarchie régulière « étroite » et qu'elle l'est encore plus dans la structure irrégulière.

2) *La réduction du délai est faible dans la hiérarchie régulière « étroite » et elle l'est encore plus dans la structure irrégulière*

Dans la hiérarchie régulière « étroite » où les agents traitent deux rapports, la capacité de traitement du sommet hiérarchique est multipliée par 13. Le tableau ci-dessous montre que l'informatisation permet de réduire le délai d'une période. Dans cette structure 16 agents sont utilisés pour lire 120 données, ce qui signifie que les agents B, D, F, H, J, L, N et P lisent 8 données alors que les agents A, C, E, G, I, K, M et O en lisent 7.

	1-7	8	9	10	11	12	13	14	15
ACEG IKMO	\mathcal{L}								
BDFH JLNP	\mathcal{L}	\mathcal{L}							
Q		A	B						
X		O	P						
Y				Q	R				
ZA				S	T				
ZB				U	V				
ZC				W	X				
ZD						Y	ZA		
ZE						ZB	ZC		
ZF								ZD-ZE	

Tableau 4.4 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière « étroite » comportant 31 agents avec informatisation de l'agent ZF ($d_{ZF} = 13$) réduisant le délai d'une période

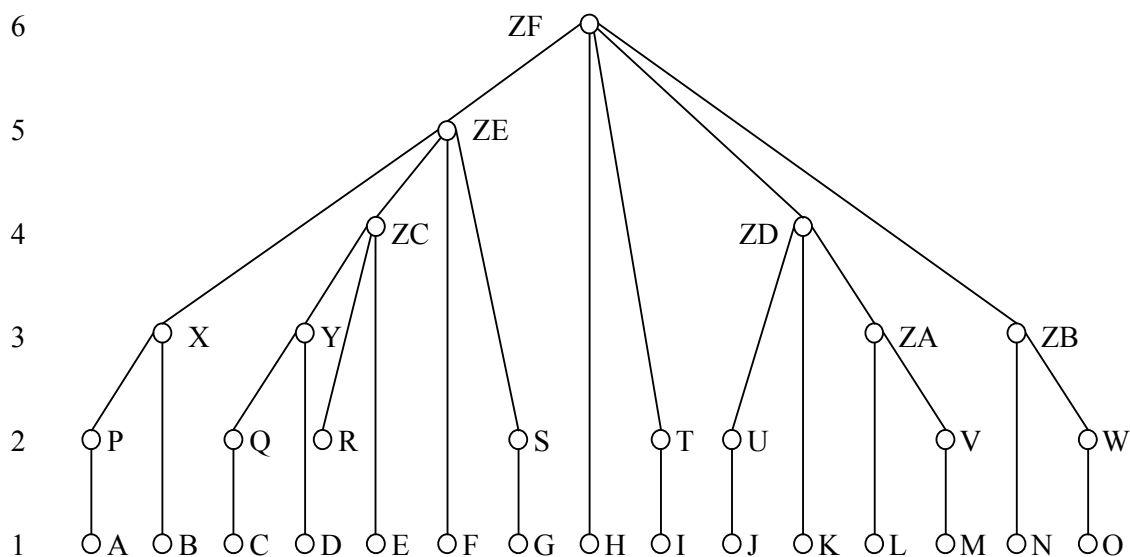
Le fait de multiplier par 13 la capacité de traitement de l'agent ZF lui permet d'agrégier deux rapports en moins d'une période, ce qui implique un délai total de traitement compris entre 13 et 14 périodes. L'informatisation de tout autre agent chargé d'agrégier les rapports implique une diminution du délai semblable exception faite des agents allant de Q à X pour lesquels l'informatisation réduit le délai de moins d'une période. L'informatisation de l'un des agents chargés de lire huit données initiales réduit le délai d'une période. Au contraire, l'informatisation des agents chargés de lire sept données initiales n'a pas d'influence sur le

délai. L'application d'un raisonnement similaire à la hiérarchie égalitaire « étroite » donne également une réduction du délai d'une période (10 au lieu de 11).

Enfin, dans la hiérarchie régulière « étroite », l'augmentation de la capacité de traitement de 20% permet à l'agent ZF de traiter deux rapports en 1,666 périodes. Le délai total d'agrégation des données est de 14,666 périodes et le pourcentage de diminution du délai est de 2,26%. Le même pourcentage est obtenu après l'informatisation de tout autre agent chargé de traiter les rapports ou de lire huit données. L'informatisation d'un agent lisant sept données n'a pas d'effet sur le délai.

Le délai ne peut donc pas être réduit de deux périodes dans la hiérarchie « étroite » même quand la capacité de traitement est multipliée par 13. Le résultat de l'informatisation est encore plus modeste dans la structure irrégulière où la réduction du délai est inférieure à une période. Le graphique 4.1 et le tableau 4.5 représentent l'agrégation de 120 données par 31 agents dans une structure irrégulière. Les agents B, D, L, N lisent 3 données initiales contre 4 pour les autres agents.

Niveaux



Graphique 4.1 : Structure irrégulière comportant 31 agents

	1-3	4	5	6	7	8	9
BDLN	\mathcal{L}						
A à O	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
P et Q	\mathcal{L}	\mathcal{L}	A et C				
R	\mathcal{L}	\mathcal{L}					
S à W	\mathcal{L}	\mathcal{L}	G à O				
X	\mathcal{L}	\mathcal{L}	B	P			
Y	\mathcal{L}	\mathcal{L}	D	Q			
ZA	\mathcal{L}	\mathcal{L}	L	V			
ZB	\mathcal{L}	\mathcal{L}	N	W			
ZC	\mathcal{L}	\mathcal{L}	E	R	Y		
ZD	\mathcal{L}	\mathcal{L}	K	U	ZA		
ZE	\mathcal{L}	\mathcal{L}	F	S	X	ZC	
ZF	\mathcal{L}	\mathcal{L}	H	T	ZB	ZD	(ZE)

Tableau 4.5 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une structure irrégulière comportant 31 agents

Dans cette structure, seule l'informatisation du sommet permet de réduire le délai et cette réduction est inférieure à une période. L'augmentation de la capacité de traitement de 20% permet à l'agent ZF de traiter au cours de la neuvième période (8,833) le rapport envoyé par ZE, ce qui donne un pourcentage de diminution du délai de 1,888%. L'informatisation de tout autre agent ne réduit pas le délai en raison du goulet d'étranglement associé à l'activité continue de l'agent ZF durant 9 périodes.

Les deux tableaux ci-dessous rappellent les résultats obtenus avant l'informatisation, après la multiplication par 13 de la capacité de traitement d'un agent et après l'augmentation de cette capacité de traitement de 20%.

structure	irrégulière	HE2	HE5	HR5	HR2	HED1*	HRD1*	chaîne
d = 1	C = 9	11	13	14	15	28	29	D = 31
d = 13	C > 8	> 9	> 9	> 9	> 13	> 6	> 6	D > 30

Tableau 4.6 : Délai d'agrégation de 120 données par 31 agents pour huit structures administratives régulières, irrégulières, équilibrées ou déséquilibrées avant et après informatisation

structure	HRD1	HR5	HR2	C
Diminution du délai (%)	13,79 %	6 %	2,26 %	1,888 %

Tableau 4.7 : Pourcentages de diminution du délai associés à une augmentation de la capacité de traitement de 20% pour un agent dans quatre structures administratives

Le premier de ces tableaux montre que l'informatisation rend la hiérarchie fortement déséquilibrée plus rapide que la structure irrégulière. Pourtant, la hiérarchie fortement déséquilibrée n'est pas une structure efficiente au sens de Radner (1993) car il est possible de réduire son délai en supprimant les agents A, B, ZD et ZE. Assimiler l'efficacité au délai n'a donc de sens qu'en présence d'agents aux capacités de traitement homogènes ou dans la comparaison du délai d'une même structure avant et après informatisation. Néanmoins, ce résultat inattendu a le mérite de faire ressortir un facteur essentiel pour que l'informatisation réduise le délai : le fait qu'un agent traite seul un grand nombre de données.

Le deuxième de ces tableaux confirme ce résultat en montrant que le pourcentage de diminution du délai issu de l'augmentation de la capacité de traitement de 20% est plus fort dans la hiérarchie fortement déséquilibrée. Au contraire, le pourcentage de diminution du délai est le plus faible dans la structure irrégulière où l'action des agents est la plus étroitement synchronisée.

L'analyse de l'informatisation présentée ci-dessus reste cependant peu réaliste car elle se borne à considérer les conséquences de l'informatisation d'un seul agent. Nous allons voir que l'informatisation de plusieurs agents fait apparaître une diminution du délai par paliers pouvant affecter la diffusion des technologies.

B- L'informatisation de plusieurs agents fait apparaître une diminution du délai par paliers pouvant affecter la diffusion des technologies

Quand l'informatisation est appliquée à un agent, la diminution du délai obtenue dépend de l'agent choisi et de la structure à laquelle il appartient. Ces deux facteurs sont tout aussi importants quand l'informatisation concerne plusieurs agents. Par exemple, le délai diminue dans la structure irrégulière seulement quand l'agent ZF est informatisé, puis quand l'agent ZE est informatisé, etc. De plus, si la structure vient limiter la diminution du délai issue de l'informatisation d'un agent, il est plausible qu'elle affecte également la diminution du délai résultant de l'informatisation de plusieurs agents.

Par la suite, nous allons considérer que l'informatisation consiste à doubler la capacité de traitement de 7 agents. Ce nombre suffit pour mettre en évidence l'existence d'une interruption dans la diminution du délai dans les différentes structures considérées. Nous verrons dans un premier temps que l'informatisation de plusieurs agents fait diminuer le délai par paliers en raison de problèmes dans la coordination de l'action des agents. Nous verrons dans un deuxième temps que la réduction du délai s'interrompt plus rapidement dans les structures irrégulières, ce qui peut affecter la diffusion des TI.

1) L'informatisation de plusieurs agents fait diminuer le délai par paliers en raison de problèmes dans la coordination de l'action des agents

Dans la structure irrégulière, le tableau 4.5 montre que l'agrégation de 120 données par 31 agents requiert 9 périodes. En s'inspirant de ce diagramme temporel, on remarque que le doublement de la capacité de traitement de l'ensemble des agents divise le délai initial par deux. Les données sont agrégées en 4,5 périodes au lieu de 9 auparavant. L'examen du tableau 4.5 permet aussi de déterminer la réduction du délai obtenue consécutivement à l'informatisation d'un groupe d'agents.

L'informatisation de ZF réduit le délai d'une demi-période car le rapport de ZE est traité deux fois plus rapidement qu'auparavant. En supposant que ZF soit déjà informatisé, le même résultat découle de l'informatisation de ZE qui traite le rapport de ZC en une demi-période. L'informatisation de ZC et ZD fait baisser le délai d'une demi-période, de même que l'informatisation des agents allant de X à ZB, puis des agents allant de P à W (sauf R). Enfin, l'informatisation des 16 agents lisant les données initiales réduit le délai de deux périodes.

L'informatisation des agents ZF et ZE réduit donc le délai de 9 à 8 périodes, mais l'informatisation des agents ZC et ZD ne réduit le délai que d'une demi-période. Ce dernier résultat n'est obtenu qu'en informatisant ces deux agents. Le tableau ci-dessous montre que l'informatisation de ZC maintient le délai à 8 périodes. Le résultat est identique quand seul ZD est informatisé. Par contre, quand ZC et ZD sont informatisés, le délai est de 7,5 périodes. ZF peut traiter le rapport de ZD lors de la deuxième moitié de la période 7 et traiter celui de ZE pendant la première moitié de la période 8.

	6,5	7	7,5	8
ZC	Y			
ZD (non informatisé)	ZA	ZA		
ZE	X	ZC		
ZF	ZB		ZD	ZE

Tableau 4.8 : L'informatisation d'un troisième agent ne réduit pas le délai dans la structure irrégulière car elle crée une période d'inactivité

Le même raisonnement s'applique aux autres groupes d'agents. Le délai est réduit d'une demi-période, puis d'une période après l'informatisation de huit, puis de quinze agents traitant les rapports. Un effet semblable est obtenu quand on considère les agents lisant les données. L'informatisation de quatre, huit, douze et seize de ces agents réduit le délai par paliers d'une demi-période. Quand tous les agents sont informatisés, le délai obtenu est bien de 4,5 périodes. L'informatisation de plusieurs agents dans la structure irrégulière a mis en évidence une réduction du délai par paliers qui existe aussi dans d'autres structures administratives.

Dans la hiérarchie régulière « étroite », le tableau 4.4 montre que l'agrégation de 120 données par 31 agents requiert 15 périodes. En s'appuyant sur ce tableau, on remarque que l'informatisation des 31 agents fait diminuer le délai de 15 à 7,5 périodes. De plus, le potentiel de réduction du délai est limité à une période par étage informatisé, à l'exception des deux niveaux situés à la base de la hiérarchie. L'informatisation de l'étage regroupant les agents Q à X ne réduit le délai que d'une demi-période. L'informatisation des seize agents chargés de lire les données initiales réduit le délai de quatre périodes. La difficulté de l'analyse de l'informatisation dans la hiérarchie régulière « étroite » consiste à déterminer dans quel ordre les agents doivent être informatisés.

Comme nous l'avons vu auparavant, l'informatisation d'un agent permet de réduire le délai à 14 périodes quand elle s'applique à 15 des 31 agents de la structure. L'informatisation de deux agents ne réduit le délai que dans certaines conditions. Ainsi, l'informatisation de deux

agents du même niveau maintient le délai à 14 périodes. Il en va de même quand l'informatisation concerne deux agents dans deux niveaux différents et situés en dessous du sommet hiérarchique. L'informatisation doit donc concerner le sommet et un autre agent de la structure, hormis ceux lisant 7 données. Quand ZD et ZF sont informatisés, le délai est de 13,5 périodes : ZF doit attendre le début de la période 14 pour traiter le rapport envoyé par ZE qui ne bénéficie pas de l'informatisation.

Un raisonnement similaire est mené pour l'informatisation de trois agents. De nouveau, l'informatisation d'agents appartenant au même niveau ou à trois niveaux différents, mais liés, maintient le délai à 13,5 périodes. Enfin, informatiser un triangle situé en dessous du sommet hiérarchique (Y, ZA, ZD par exemple) donne un délai de 14 périodes. Pour réduire le délai à 13 périodes, le plus simple est d'informatiser ZD, ZE et ZF. Ce résultat aurait pu être obtenu en informatisant les agents ZF, ZD et ZB ou bien ZF, ZB et Y.

De même, l'informatisation de quatre agents (Y, ZE, ZD et ZF par exemple) donne un délai de 12,5 périodes. Ce mouvement de réduction du délai s'interrompt avec l'informatisation de cinq agents qui maintient le délai à 12,5 périodes. Le tableau 4.9 décrit la situation issue de l'informatisation des agents Y, ZB, ZD, ZE et ZF. On voit que l'informatisation de ZA au lieu de ZB donne le même résultat car l'agent ZF ne reçoit le rapport de ZE qu'à la fin de la période 12.

	10	10,5	11	11,5	12	12,5
Y	R					
ZA	S	T	T			
ZB	V					
ZC	W	X	X			
ZD		Y		ZA		
ZE		ZB		ZC		
ZF					ZD	ZE

Tableau 4.9 : L'informatisation d'un cinquième agent ne réduit pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » car elle crée des périodes d'inactivité

L'informatisation de six agents (Y, ZA, ZB, ZD, ZE et ZF) réduit le délai à 12 périodes. Elle suffit pour concrétiser le potentiel de réduction du délai associé à l'informatisation des sept agents situés dans les trois niveaux hiérarchiques les plus élevés. L'informatisation de sept agents (ZC) ne modifie pas le délai, mais l'informatisation de huit agents fait baisser le délai à

11,5 périodes. Le phénomène de réduction du délai par paliers déjà constaté dans la structure irrégulière se manifeste de nouveau.

La réduction du délai par paliers s'explique par des problèmes de coordination de l'action des agents quand leur capacité de traitement est hétérogène. Nous avons constaté la présence de ce phénomène dans la structure irrégulière et dans la hiérarchie régulière « étroite ». Il se manifeste également dans la hiérarchie régulière « large » et dans la hiérarchie fortement déséquilibrée. Néanmoins, la réduction du délai s'interrompt plus rapidement dans la structure irrégulière, ce qui peut affecter la diffusion des TI.

2) La réduction du délai s'interrompt plus rapidement dans la structure irrégulière, ce qui peut affecter la diffusion des TI

La réduction du délai par paliers survient également dans la hiérarchie régulière « large » où l'agrégation de 120 données par 31 agents requiert 14 périodes (tableau 4.3). En s'appuyant sur ce tableau, on remarque que l'informatisation des 31 agents fait baisser le délai de 14 à 7 périodes. Nous avons vu auparavant que l'informatisation du sommet hiérarchique réduit le plus fortement le délai. Quand la capacité de traitement de ZF est doublée, le délai passe de 14 à 11,5 périodes. De plus, le potentiel de réduction du délai associé à l'informatisation des agents allant de ZA à ZE est de deux périodes. Ce potentiel est de 2,5 périodes quand l'informatisation touche les agents lisant les données.

L'informatisation de ZF ayant réduit le délai à 11,5 périodes, l'informatisation d'un deuxième agent situé à un niveau différent le fait diminuer à 11 périodes. L'informatisation du triangle ZA, ZB, ZF fait baisser le délai à 10,5 périodes. L'informatisation de quatre agents (ZA, ZB, ZC, ZF), puis de cinq agents (ZA, ZB, ZC, ZD, ZF) réduit le délai respectivement à 10 et à 9,5 périodes. L'informatisation d'un sixième agent (ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF) maintient le délai à 9,5 périodes mais ce délai est réduit à 9 périodes avec l'informatisation d'un septième agent (B, ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF). La réduction du délai par paliers se manifeste donc pour la troisième fois.

Dans la hiérarchie régulière fortement déséquilibrée, nous avons vu que l'informatisation de l'agent ZE réduit le plus fortement le délai. En s'appuyant sur le tableau 4.1, on voit que cet agent traite 26 rapports en 12 périodes et que le délai total est de 17 périodes. L'informatisation successive des agents E, F et ZF réduit ce délai à 16,5 à 16 et à 15,5 périodes. L'informatisation d'un cinquième puis d'un sixième agent (C et D) maintient le délai à 15,5 périodes. L'informatisation des agents G et H donne un délai de 15, puis de 14,5

périodes. Il n'est pas possible d'atteindre un délai plus faible car ZE ne peut plus traiter de rapport avant le début de la période 5.

Le tableau ci-dessous rend compte de la diminution du délai par paliers constatée dans les quatre structures administratives.

Struc.	Délai initial	1 Proc. d = 13	1 Proc. d = 2	2 Proc. d = 2	3 Proc. d = 2	4 Proc. d = 2	5 Proc. d = 2	6 Proc. d = 2	7 Proc. d = 2	31 Proc. d = 2
C	9	$8 + 1/13$	8,5	8	8	7,5	7,5	7,5	7,5	4,5
HR2	15	$13 + 2/13$	14	13,5	13	12,5	12,5	12	12	7,5
HR5	14	$9 + 5/13$	11,5	11	10,5	10	9,5	9,5	9	7
HRD1	29	7	17	16,5	16	15,5	15,5	15,5	15	14,5

Tableau 4.10 : Informatisation de sept agents et décroissance du délai par paliers dans la structure irrégulière et dans les hiérarchies « étroite », « large » et fortement déséquilibrée

Le tableau 4.10 met en évidence le rôle de l'organisation des activités administratives dans la diffusion des technologies. La diffusion de l'informatisation rencontre des obstacles plus importants dans les structures où elle cesse rapidement de contribuer à une réduction régulière du délai. Dans la structure irrégulière, il est possible que l'informatisation se limite aux quatre agents situés au sommet et à huit agents dans le meilleur des cas. Dans la hiérarchie fortement déséquilibrée, le délai minimal est obtenu après l'informatisation du huitième agent.

L'étude de l'informatisation de sept agents dans ces quatre structures montre également l'influence variable de l'organisation sur les trajectoires d'informatisation. Cette influence est forte dans la structure irrégulière où l'informatisation doit commencer par le sommet hiérarchique pour faire baisser le délai. Cette influence est moins marquée dans la hiérarchie régulière « étroite ». Bien que l'effet de l'informatisation sur le délai dépende du choix des agents, rien n'oblige à la faire débiter par le sommet hiérarchique. Quand l'informatisation commence par l'agent B, le délai est réduit à 14 périodes, puis à 13,5 périodes quand ZF est lui aussi informatisé. Le délai est de 13 périodes quand l'informatisation concerne B, P et ZF, puis de 12,5 périodes quand elle affecte B, P, ZD et ZF. La réduction du délai est donc comparable à celle décrite par le tableau 4.10.

Lors de cette première section, les conséquences de l'informatisation sur le délai ont été analysées en l'absence de changement organisationnel. La multiplication par treize de la capacité de traitement d'un agent dans chacune des structures administratives, puis son augmentation de 20%, ont mis en évidence deux déterminants de la diminution du délai.

D'une part, cette diminution dépend de l'agent choisi dans chaque structure. D'autre part, cette diminution dépend des caractéristiques de la structure à laquelle l'agent appartient. La réduction du délai est d'autant plus forte que l'agent traite seul un grand nombre de données. Enfin, le doublement de cette capacité de traitement pour plusieurs agents a permis de montrer l'existence d'une réduction du délai par paliers. Celle-ci reflète des problèmes dans la coordination de l'action des agents quand leurs capacités de traitement sont hétérogènes. L'informatisation crée donc des périodes d'inactivité qui surviennent plus rapidement dans la structure irrégulière. Les hiérarchies régulières se prêtent mieux à la diffusion des technologies que la structure irrégulière. L'organisation des activités administratives a donc une influence sur la diffusion des technologies qui n'est pas prise en compte par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes.

De plus, ces modèles considèrent que l'informatisation ou l'évolution de l'environnement engendrent automatiquement une évolution de l'organisation optimale des activités administratives. Seuls Cukrowski et Baniak (1999) conditionnent la diminution de la taille optimale des activités administratives à un changement technique suffisamment fort. La section suivante s'efforce de déterminer dans quelles conditions l'informatisation fait évoluer l'organisation des activités administratives. Plus généralement, cette section étudie les conséquences de l'informatisation sur l'efficacité des activités administratives en présence du changement organisationnel.

II) Les conséquences de l'informatisation sur l'efficacité des activités administratives en présence du changement organisationnel

Nous avons vu lors de la section précédente que les conséquences de l'informatisation sur le délai diffèrent suivant les structures administratives considérées. Cependant, l'informatisation peut engendrer le changement organisationnel comme l'ont montré les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Dans cette section, nous verrons que le changement organisationnel prend différentes formes parmi lesquelles figure l'évolution du nombre des agents. Ceci nous conduit à étendre notre conception de l'efficacité au-delà du délai. L'informatisation peut donc affecter l'efficacité des activités administratives en faisant diminuer le délai ou en réduisant le nombre des agents administratifs¹.

Cette section s'intéresse aux conséquences de l'informatisation sur l'efficacité des activités administratives en présence du changement organisationnel. Elle détermine les conditions

¹ Ceci nous rapproche du critère d'efficacité retenu par Radner (1993). Selon lui, une organisation est efficace quand la réduction du nombre des agents fait augmenter le délai et vice versa.

dans lesquelles les différentes formes du changement organisationnel se manifestent. Elle se propose notamment de compléter l'analyse de l'informatisation des activités administratives conduite par Cukrowski et Baniak (1999). Ces auteurs évoquent la possibilité d'une augmentation de la capacité de traitement insuffisante pour faire diminuer la taille, mais sans préciser quel est le seuil critique d'informatisation à partir duquel la taille diminue.

Il s'agit donc de savoir dans quelles conditions l'informatisation engendre le changement organisationnel et dans quelles conditions celui-ci prend la forme d'une évolution du nombre des agents. Dans un premier temps, nous verrons que l'apparition des différentes formes du changement organisationnel suppose que la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil. Dans un deuxième temps, nous verrons que l'ampleur de la diminution du nombre des agents dépend des seuils associés à la capacité de traitement, mais aussi des caractéristiques de l'organisation.

A- L'apparition des différentes formes du changement organisationnel suppose que la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil

Cukrowski et Baniak (1999) considèrent que l'informatisation fait diminuer la taille optimale des activités administratives quand le changement technique qui lui est associé est suffisamment fort. Selon nous, il est possible que l'amélioration de la capacité de traitement des agents soit insuffisante pour provoquer l'apparition du changement organisationnel. Celui-ci ne se manifeste pas seulement par l'évolution du nombre des agents : il peut prendre d'autres formes telles que la modification de la répartition des données initiales ou la transformation des liens entre les agents.

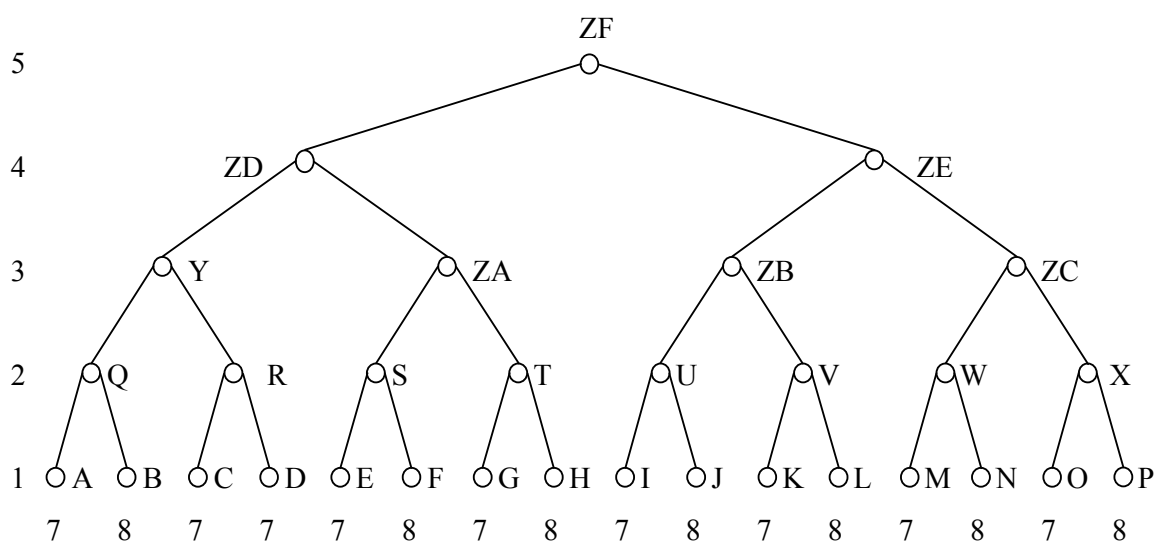
Dans chaque structure, la capacité de traitement d'un agent doit dépasser un certain seuil pour faire apparaître le changement organisationnel. Nous verrons dans un premier temps qu'au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut modifier la répartition des données initiales sans réduire le délai. Nous verrons dans un deuxième temps qu'au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut modifier les liens entre les agents et réduire le délai. Nous verrons dans un troisième temps qu'au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut faire diminuer le nombre des agents et réduire le délai.

1) *Au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut modifier la répartition des données initiales sans réduire le délai*

Soit S , le nombre de données initiales devant être traitées par un agent. L'augmentation de la capacité de traitement permettant à cet agent de traiter $S + 1$ données dans un délai de S périodes est obtenue à l'aide de la formule suivante : $d = 1 + \frac{(S+1) - S}{S}$. (1)

Par exemple, dans la hiérarchie régulière « étroite », l'agent B peut traiter 9 données en 8 périodes quand sa capacité de traitement est augmentée de 12,5% ($dB = 1,125$). Cette amélioration de la capacité de traitement de l'agent B peut modifier la répartition des données initiales entre les agents. Néanmoins, nous allons voir qu'elle est insuffisante pour faire diminuer le délai de traitement des 120 données initiales.

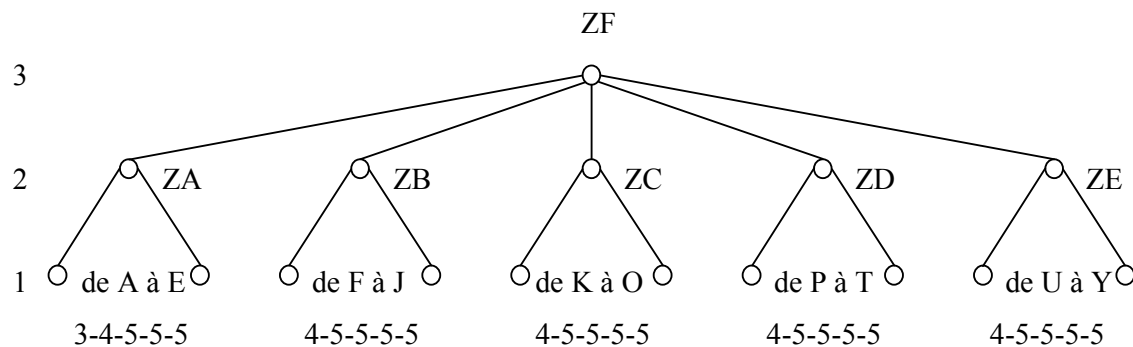
Supposons que l'agent B traite une donnée destinée auparavant à l'agent D. Le graphique ci-dessous montre que le transfert d'une donnée de l'agent D à l'agent B maintient le délai d'agrégation de 120 données à 15 périodes. Les chiffres figurant sous les agents représentent le délai de traitement des données initiales et non pas le nombre de données traitées. Après transfert, l'agent B traite 9 données en 8 périodes et l'agent D traite 7 données en 7 périodes. Dans ce cas, tous les agents du niveau 2 achèvent de traiter les rapports envoyés par leurs subordonnés à la fin de la période 9, impliquant un délai de 15 périodes. L'augmentation de la capacité de traitement de l'agent B de 12,5% modifie la répartition des données initiales sans réduire le délai.



Graphique 4.2 : Hiérarchie régulière « étroite » traitant 120 données avec 31 agents en 15 périodes après transfert d'une donnée vers l'agent B ($dB = 1,125$)

Néanmoins, le graphique ci-dessus suggère que le délai est réduit à 14 périodes quand l'agent C est capable de traiter 7 données en 6 périodes. Ceci suppose une augmentation de la capacité de traitement de l'agent C de 16%. Cette solution n'est pourtant pas la meilleure : il est préférable de procéder au transfert d'une donnée de l'agent C vers l'agent B. Ce dernier doit traiter 10 données en 8 périodes, ce qui implique une augmentation de la capacité de traitement de 25%. En l'absence de changement organisationnel, la réduction du délai d'une période est obtenue quand l'agent B traite 8 données en 6 périodes, ce qui requiert une augmentation de la capacité de traitement de 33%.

Un raisonnement identique permet d'obtenir le pourcentage d'augmentation de la capacité de traitement d'un agent nécessaire pour réduire le délai d'une période dans la hiérarchie régulière « large ». La répartition des données initiales peut être modifiée quand l'agent C est capable de traiter 6 données en 5 périodes, mais le transfert d'une donnée ne suffit pas pour réduire le délai d'une période. Cette réduction est obtenue quand les agents A et B transmettent chacun une donnée à l'agent C qui doit pouvoir traiter 7 données en 5 périodes. Dans le graphique ci-dessous, les chiffres figurant sous les agents représentent le délai de traitement des données initiales.



Graphique 4.3 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données avec 31 agents en 13 périodes après transfert de deux données vers l'agent C ($dC = 1,4$)

Quand la capacité de traitement de l'agent C augmente de 40% ($dC = 1,4$), le délai d'agrégation de 120 données par la hiérarchie régulière « large » est de 13 périodes. En l'absence de changement organisationnel, le délai est réduit d'une période quand l'agent C est capable de traiter 5 données en 3 périodes, ce qui implique une augmentation de la capacité de traitement de 66% ($dC = 1,66$). Le changement organisationnel contribue donc à réduire le seuil d'augmentation de la capacité de traitement nécessaire à la diminution du délai.

Le tableau 4.11 rappelle les seuils obtenus pour les deux hiérarchies régulières considérées.

Seuils d'augmentation de la capacité de traitement réduisant le délai	« large »	« étroite »
Sans changement organisationnel	66%	33%
Avec changement organisationnel	40%	25%

Tableau 4.11 : Seuils d'amélioration de la capacité de traitement réduisant le délai dans la hiérarchie régulière « large » et dans la hiérarchie régulière « étroite » avec et sans changement organisationnel

Le changement organisationnel facilite l'existence d'une diminution du délai consécutivement à l'informatisation d'un agent et contribue donc à l'efficacité des activités administratives. Le changement organisationnel ne prend pas forcément la forme d'un transfert de données entre les agents. Ces données peuvent être accessibles à l'ensemble des agents via une base de données partagées, mais l'agent disposant d'une capacité de traitement plus importante en traite un plus grand nombre.

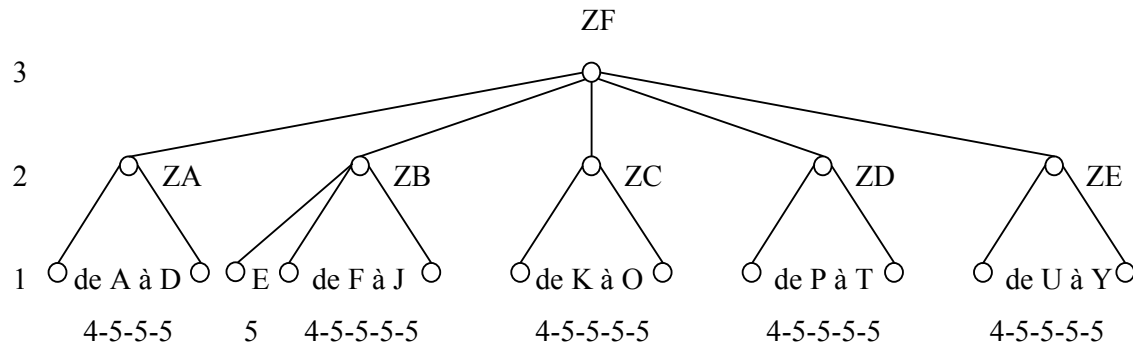
Nous avons montré qu'au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement des agents peut modifier la répartition des données initiales sans réduire le délai. Néanmoins, il est possible que les gains de spécialisation dans le traitement d'un certain type de données mis en évidence par Bolton et Dewatripont (1994) fassent obstacle au transfert des données initiales entre les agents. Le changement organisationnel peut aussi résulter de l'informatisation d'un agent spécialisé dans le traitement des rapports. Nous allons voir qu'au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut modifier les liens entre les agents et réduire le délai.

2) Au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut modifier les liens entre les agents et réduire le délai

La formule permettant de calculer l'amélioration de la capacité de traitement nécessaire pour qu'un agent traite $S + 1$ données en S périodes peut être utilisée pour faire en sorte qu'il traite $S + 1$ rapports en S périodes. Soit S , le nombre de subordonnés auxquels l'agent informatisé est lié. L'augmentation de la capacité de traitement permettant à cet agent de traiter $S + 1$ rapports dans un délai de S périodes est obtenue à l'aide de la formule suivante :

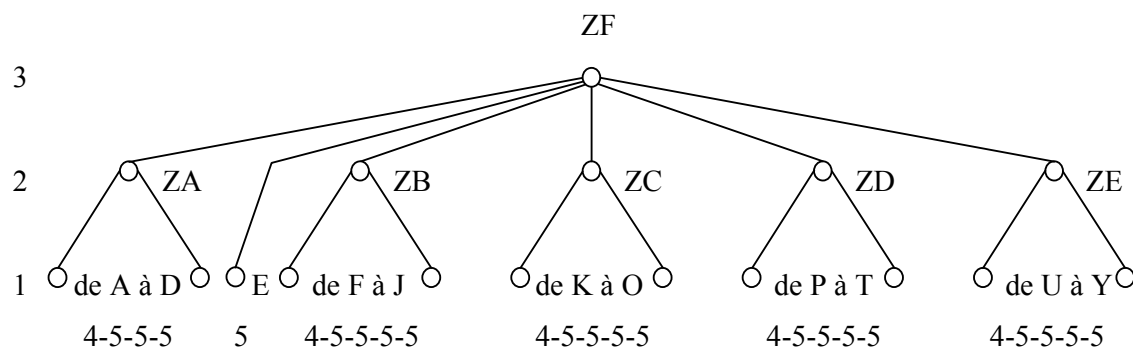
$$d = 1 + \frac{(S+1) - S}{S} \quad (2)$$

Dans la hiérarchie régulière « large », chaque agent est lié à 5 subordonnés. L'application de la formule ci-dessus montre que l'augmentation de la capacité de traitement de 20% permet à l'agent informatisé ($d = 1,2$) de traiter 6 rapports en 5 périodes. Dans le graphique ci-dessous, l'informatisation de l'agent ZB lui permet de traiter en cinq périodes les rapports des agents allant de F à J, mais aussi le rapport de E. Cette modification des liens entre les agents a pour conséquence une diminution du nombre de rapports traités par l'agent ZA. Celle-ci se traduit par la réduction du délai de traitement des 120 données de 14 à 13 périodes.



Graphique 4.4 : Hiérarchie régulière « large » avec modification des liens entre les agents après une augmentation de la capacité de traitement de 20% pour l'agent ZB

Un phénomène identique se manifeste quand l'augmentation de la capacité de traitement de 20% concerne l'agent ZF. Celui-ci peut traiter six rapports en cinq périodes, ce qui crée un lien direct avec l'agent E. De nouveau, ZA se contente de traiter quatre rapports en quatre périodes et le délai d'agrégation des 120 données est réduit de 14 périodes à moins de 13 périodes (12,333).



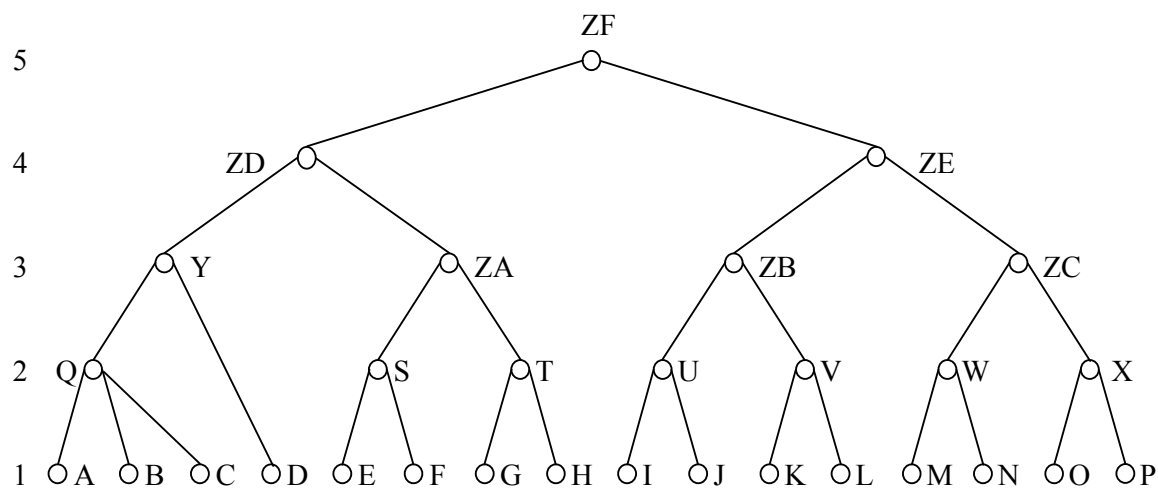
Graphique 4.5 : Hiérarchie irrégulière « large » avec modification des liens entre les agents après une augmentation de la capacité de traitement de 20% pour l'agent ZF

Dans la hiérarchie régulière « large », une augmentation de la capacité de traitement des agents de 20% peut modifier les liens entre les agents et réduire le délai d'une période. En l'absence de changement organisationnel, la réduction du délai d'une période suppose que l'un des agents allant de ZA à ZF traite 5 données en 4 périodes, soit une augmentation de la capacité de traitement de 25%. De nouveau, le changement organisationnel réduit le seuil à partir duquel l'informatisation d'un agent réduit le délai d'une période.

Dans la hiérarchie régulière « étroite », la diminution du délai d'une période est obtenue sans changement organisationnel par le doublement de la capacité de traitement de l'un de ces agents. L'augmentation de la capacité de traitement de 50% permet de traiter 3 rapports en 2 périodes, ce qui peut modifier les liens entre les agents, mais aussi réduire leur nombre. Plus généralement, nous allons voir qu'au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut faire diminuer le nombre des agents et réduire le délai.

3) *Au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut faire diminuer le nombre des agents et réduire le délai*

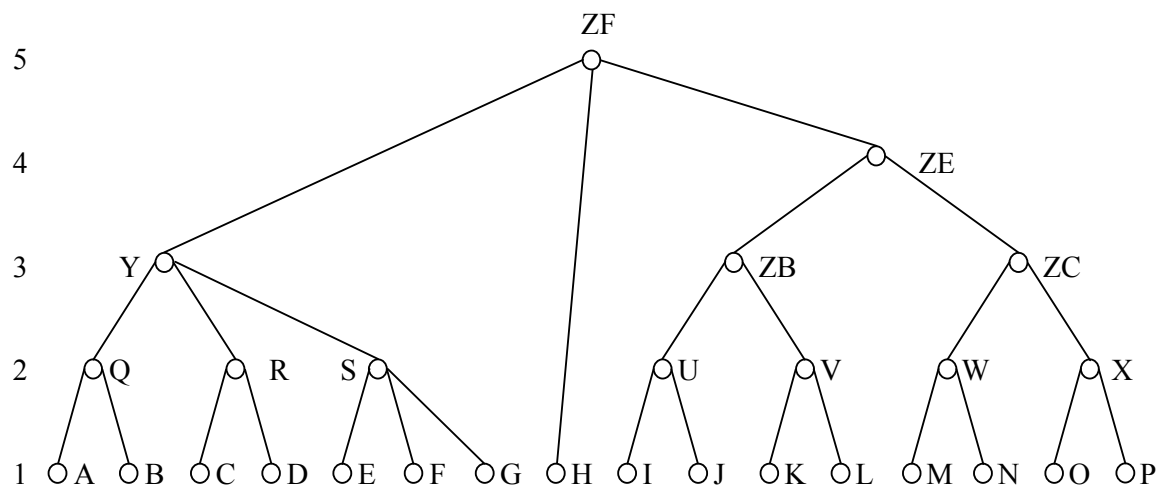
Dans la hiérarchie régulière « étroite », un agent reçoit les rapports de deux subordonnés ce qui implique une nouvelle forme d'effet de seuil. En appliquant la formule donnée par l'équation (1), on remarque que l'augmentation de la capacité de traitement nécessaire pour modifier les liens entre les agents est à présent de 50%. De plus, cette modification des liens ne se limite pas à faire baisser le délai : elle fait également diminuer le nombre des agents. Le graphique ci-dessous montre que l'informatisation de l'agent Q lui permet de traiter les rapports des agents A, B et C en deux périodes.



Graphique 4.6 : Hiérarchie irrégulière « étroite » avec diminution du nombre des agents après une augmentation de la capacité de traitement de 50% pour l'agent Q

Ceci a pour conséquence de rendre l'agent R inutile et d'instaurer un lien direct entre les agents Y et D. Dans cette nouvelle structure comportant 30 agents, le délai a été réduit de 15 à 14 périodes. Le changement organisationnel suscité par l'informatisation contribue de nouveau à l'efficacité des activités administratives. En effet, il réduit le nombre des agents et le délai au regard du résultat obtenu en l'absence du changement organisationnel (baisse du délai d'un tiers de période). La contribution du changement organisationnel à l'efficacité est évidente quand on remarque qu'en son absence, un doublement de la capacité de traitement de l'un des agents allant de ZA à ZF est nécessaire pour réduire le délai d'une période.

Le changement organisationnel prend une forme plus spectaculaire quand l'informatisation concerne le sommet hiérarchique. Dans ce cas, un troisième lien peut être établi entre ZF et n'importe quel autre agent appartenant aux niveaux 1, 2 et 3. Quand ZF est lié à ZA, l'agent ZD devient inutile et ZF reçoit directement le rapport de Y. La structure administrative comporte à présent 30 agents et son délai est inférieur à 14 périodes ($13 + 2/3$). L'intérêt d'informatiser le sommet plutôt qu'un autre agent dans la hiérarchie régulière « étroite » apparaît plus clairement quand le troisième lien est établi entre ZF et un agent du niveau 1. Dans le graphique ci-dessous, la présence d'un troisième lien entre ZF et H conduit à la suppression des agents T, ZA et ZB et donne un délai inférieur à 14 périodes ($13 + 2/3$).



Graphique 4.7 : Hiérarchie irrégulière « étroite » avec diminution du nombre des agents après une augmentation de la capacité de traitement de 50% pour l'agent ZF

Le changement organisationnel donne un effet encore plus important à l'informatisation quand un quatrième lien est établi entre ZF et I. A présent, les agents U, ZB et ZE sont supprimés, la structure administrative comprend 25 agents et le délai est légèrement réduit,

mais reste supérieur à 13 périodes ($13 + 1/3$). On obtient donc une structure hybride intégrant à la fois les caractéristiques de la hiérarchie régulière et celles de la structure irrégulière.

De plus, l'augmentation de la capacité de traitement de 50% permet la diminution du nombre des agents dans la seule hiérarchie régulière « étroite ». Nous verrons plus loin que le doublement de la capacité de traitement d'un agent est indispensable pour obtenir le même résultat dans la hiérarchie régulière « large ». Dans cette structure, l'informatisation du sommet hiérarchique fait disparaître un agent et réduit le délai de traitement à 11 périodes. En l'absence de changement organisationnel, nous avons vu que le délai issu du doublement de la capacité de traitement du sommet hiérarchique est de 11,5 périodes. De nouveau, le changement organisationnel favorise la diminution du délai.

Nous avons montré que l'apparition des différentes formes du changement organisationnel suppose que la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil. Nous avons également vu que le changement organisationnel contribue à l'efficacité des activités administratives en rendant plus aisée la réduction du délai et en faisant diminuer le nombre des agents administratifs. A présent, il s'agit de déterminer quel est le lien entre l'amélioration de la capacité de traitement des agents et la diminution de leur nombre. Nous allons voir que l'ampleur de la diminution du nombre des agents dépend des seuils associés à la capacité de traitement, mais aussi des caractéristiques de l'organisation.

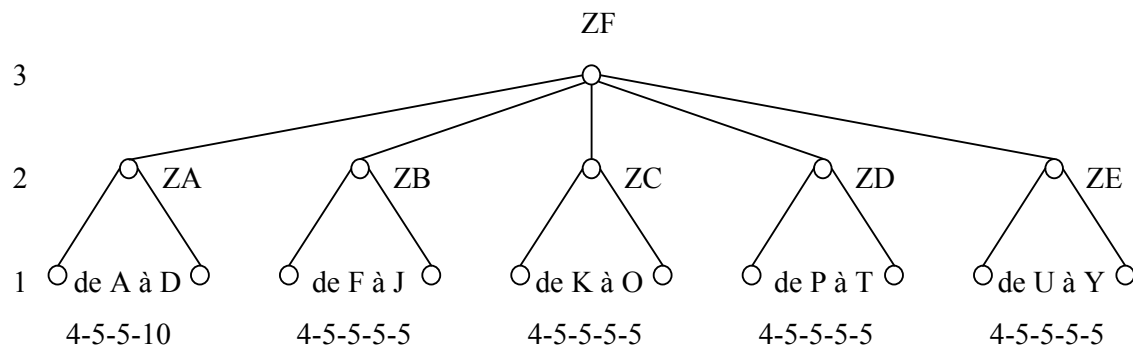
B- L'ampleur de la diminution du nombre des agents dépend des seuils associés à la capacité de traitement, mais aussi des caractéristiques de l'organisation

Dans le cas particulier de la hiérarchie régulière « étroite », une augmentation de la capacité de traitement de 50% suffit pour faire diminuer le nombre des agents consécutivement à l'évolution de leurs liens. Cependant, dans les autres structure, le doublement de la capacité de traitement d'un agent est indispensable pour obtenir une diminution de leur nombre. Il s'agit alors de déterminer quelles sont les conséquences du doublement de la capacité de traitement d'un, puis de plusieurs agent sur le délai et sur le nombre des agents.

Nous verrons dans un premier temps que le doublement de la capacité de traitement d'un agent peut faire disparaître un autre agent, ce qui réduit le délai. Nous verrons dans un deuxième temps que la diminution du nombre des agents est plus forte dans la hiérarchie régulière quand leur capacité de traitement est égale au nombre de leurs subordonnés. Nous verrons dans un troisième temps que l'informatisation de plusieurs agents peut engendrer une diminution de leur nombre via la modification des liens et la redistribution des données.

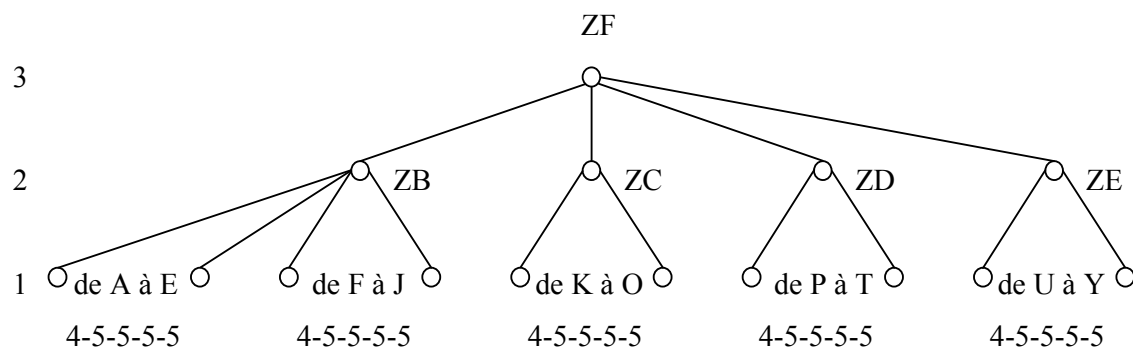
1) *Le doublement de la capacité de traitement d'un agent peut faire disparaître un autre agent, ce qui réduit le délai*

Supposons que la capacité de traitement de l'agent D soit doublée dans la hiérarchie régulière « large » ci-dessous. Celui-ci peut donc traiter 10 données durant 5 périodes, ce qui signifie qu'il peut traiter les 5 données qu'il reçoit plus les 5 données traitées auparavant par l'agent E. Par conséquent, ZA reçoit 4 rapports au lieu de 5 et achève son travail à la fin de la période 8 et non plus à la fin de la période 9. Ceci implique que ZF reçoit le rapport de ZA une période plus tôt, ce qui lui permet de finir l'agrégation des 5 rapports à la fin de la période 13 et non plus à la fin de la période 14.



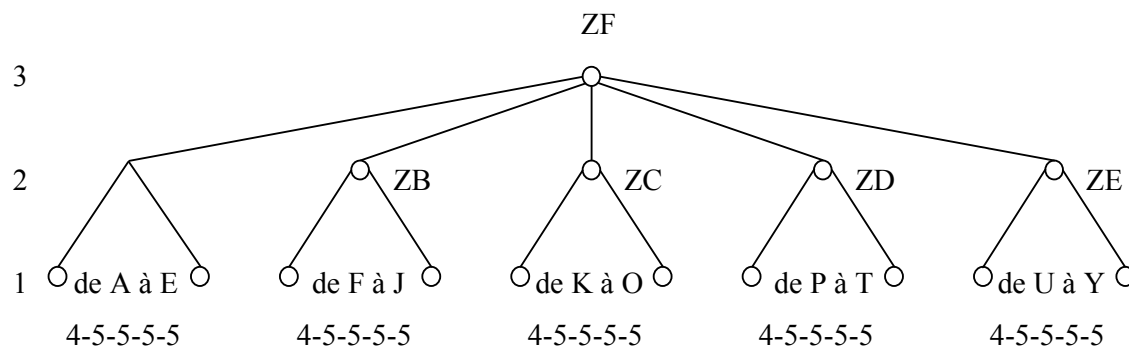
Graphique 4.8 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 13 périodes avec 30 agents après l'informatisation de D ($dD = 2$) et la disparition de E

De même, le fait de doubler la capacité de traitement de ZB lui permet de traiter 10 rapports durant 5 périodes. Il peut donc prendre en charge le traitement des rapports envoyés par les agents A, B, C, D et E et se substituer à l'agent ZA, comme le montre le graphique ci-dessous. L'agent ZB achève toujours le traitement des rapports à la fin de la période 9, mais la disparition de l'agent ZA implique le traitement de 4 rapports par ZF au lieu de 5 auparavant. En conséquence, le délai d'agrégation des données est réduit à 13 périodes.



Graphique 4.9 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 13 périodes avec 30 agents après l'informatisation de ZB ($dZB = 2$) et la disparition de ZA

Enfin, le doublement de la capacité de traitement de ZF lui permet de traiter 10 rapports en 5 périodes. Comme il possède seulement 5 subordonnés, cela implique qu'il traite les 5 rapports auparavant reçus par ZA. Le traitement de ces rapports est achevé à la fin de la période 7, le traitement des rapports envoyés par ZB, ZC, ZD et ZE est quant à lui achevé à la fin de la période 11. En l'absence de changement organisationnel, le délai était de 11,5 périodes.



Graphique 4.10 : Hiérarchie irrégulière « large » traitant 120 données en 11 périodes avec 30 agents après l'informatisation de ZF ($d_{ZF} = 2$) et la disparition de ZA

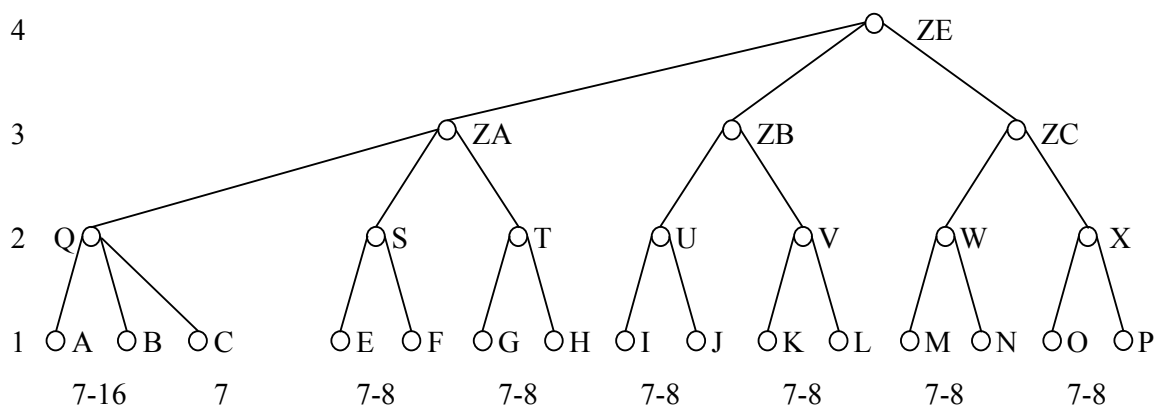
De nouveau, nous constatons que la réduction du délai issue de l'informatisation est plus forte en présence du changement organisationnel qu'en son absence. Il est également préférable d'informatiser le sommet hiérarchique car l'informatisation fait alors disparaître un agent et réduit le délai de trois périodes. De plus, nous allons voir que l'informatisation du sommet hiérarchique a des effets encore plus spectaculaires dans la hiérarchie régulière du point de vue de la diminution du nombre des agents. Celle-ci est plus forte dans une hiérarchie régulière quand leur capacité de traitement est égale au nombre de leurs subordonnés.

2) La diminution du nombre des agents est plus forte dans la hiérarchie régulière quand leur capacité de traitement est égale au nombre de leurs subordonnés

Nous avons remarqué auparavant qu'une amélioration de la capacité de traitement de 50% pour un agent traitant des rapports dans la hiérarchie régulière « étroite » implique à la fois une évolution des liens et une diminution du nombre des agents. Il est logique de s'attendre à ce qu'un doublement de la capacité de traitement réduise le nombre des agents de manière plus conséquente.

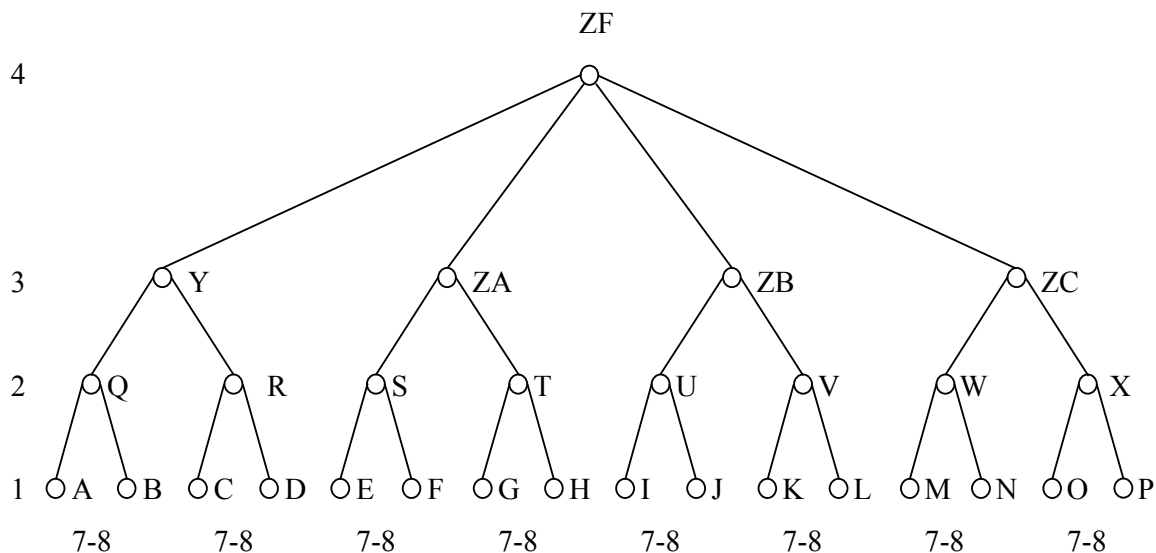
Supposons que la capacité de traitement de l'agent B soit doublée. Il peut alors prendre en charge les 8 données traitées auparavant par l'agent D. La suppression de cet agent implique également celle des agents R, Y, ZD et ZF. La structure en résultant comporte seulement 26

agents et traite les données en 14 périodes au lieu de 15 auparavant, comme le montre le graphique ci-dessous.



Graphique 4.11 : Hiérarchie régulière « étroite » traitant 120 données en 14 périodes avec 26 agents après informatisation de B ($dB = 2$) et disparition de D, R, Y, ZD, ZF

L'informatisation du sommet de la hiérarchie régulière « étroite » donne-t-elle une réduction plus importante du nombre d'agents ou du délai ? On remarque immédiatement que le doublement de la capacité de traitement de ZF lui permet de prendre en charge le travail de ses deux subordonnés ZD et ZE. Le graphique ci-dessous montre que dans ce cas, la structure ne comporte plus que 29 agents et que les 120 données sont traitées en 13 périodes.

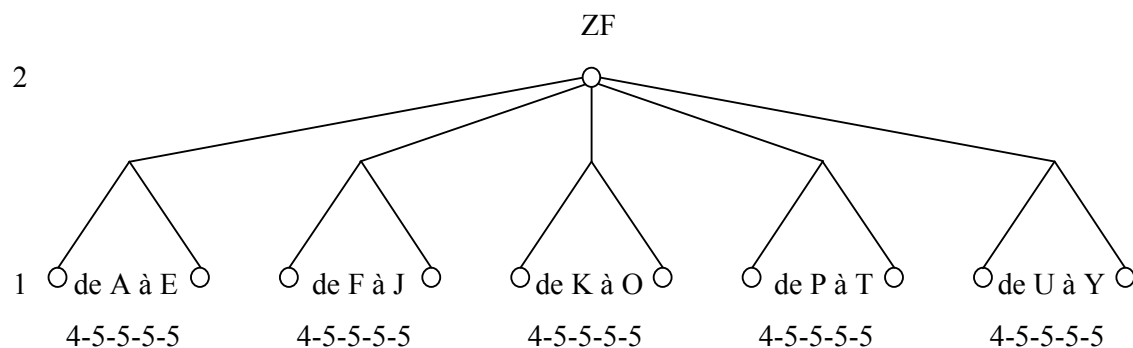


Graphique 4.12 : Hiérarchie régulière « étroite » traitant 120 données en 13 périodes avec 29 agents après informatisation de ZF ($dZF = 2$) et la disparition de ZD et ZE

La réduction du délai est plus importante que dans l'exemple précédent, mais la réduction du nombre des agents est beaucoup plus modeste. Néanmoins, le processus de suppression des agents peut être étendu au-delà de ZD et ZE. La suppression des agents Y, ZA, ZB et ZC donne une structure comportant 25 agents où les données sont agrégées en 13 périodes. Cette nouvelle organisation des activités administratives est préférable à celle décrite dans le graphique ci-dessus car elle donne le même délai et comporte un plus petit nombre d'agents. Cette organisation est également supérieure à celle obtenue après l'informatisation de B où le délai est de 14 périodes et le nombre des agent égal à 26.

Enfin, si l'on remarque que ZF peut traiter 16 rapports en 8 périodes consécutivement au doublement de sa capacité de traitement, on obtient une troisième organisation des activités administratives où le nombre des agents est réduit à 17, mais où le délai retrouve son niveau initial de 15 périodes. L'informatisation de ZF peut donc conduire à deux sortes différentes d'organisation des activités administratives. La première traite les données en 13 périodes avec 25 agents et la seconde traite les données en 15 périodes avec 17 agents. Le choix entre ces deux structures dépendra donc des priorités des dirigeants quant à la réduction du délai ou à la réduction du nombre des agents.

Plus généralement, quand la capacité de traitement du sommet hiérarchique correspond au nombre de ses subordonnés, il peut se substituer aux agents figurant dans les niveaux hiérarchiques intermédiaires sans augmenter le délai de traitement initial. Dans la hiérarchie régulière « large » ci-dessous, la multiplication par 5 de la capacité de traitement de ZF lui permet de traiter 25 rapports en 5 périodes, ce qui implique la disparition des agents appartenant au niveau 2. Dorénavant, 26 agents suffisent pour agréger les 120 données dans un délai réduit à 9 périodes comme le montre le graphique ci-dessous.



Graphique 4.13 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 9 périodes avec 26 agents après l'informatisation de ZF ($d_{ZF} = 5$) et la disparition du niveau 2

L'ampleur de la réduction du nombre des agents ne dépend pas seulement des seuils associés à l'amélioration de la capacité de traitement. Elle dépend également des caractéristiques de la structure à laquelle s'applique l'informatisation. Le doublement de la capacité de traitement de ZF n'a pas les mêmes conséquences sur la diminution du nombre des agents suivant que cet agent appartiennent à une hiérarchie régulière « large » ou à une hiérarchie régulière « étroite ». Dans le premier cas, nous avons vu que le nombre des agents est réduit d'une unité et dans le second cas, le nombre des agents peut être réduit de manière beaucoup plus forte en raison de la disparition des niveaux hiérarchiques intermédiaires.

La disparition des niveaux hiérarchiques intermédiaires rencontre des limites dans la mesure où elle n'est pas toujours compatible avec le maintien du délai à son niveau initial. Considérons une hiérarchie régulière « étroite » comportant 63 agents dans six niveaux, impliquant un délai d'agrégation des rapports de 10 périodes. Le doublement de la capacité de traitement du sommet hiérarchique permet de supprimer trois niveaux intermédiaires et 14 agents sans faire augmenter le délai de 10 périodes. La suppression des 16 agents du niveau 1 implique pour ZF le traitement de 32 rapports dans un délai de 16 périodes au lieu de 10 périodes antérieurement.

Le même raisonnement s'applique à une hiérarchie régulière « large » comportant 125 agents dans 4 niveaux, où le délai d'agrégation des rapports est de 15 périodes. Multiplier par 5 la capacité de traitement de l'agent ZF permet de supprimer 5 agents et un niveau intermédiaire. La suppression des 25 agents du niveau 1 implique pour ZF le traitement de 125 rapports en 25 périodes au lieu de 15 périodes auparavant.

Ces deux exemples illustrent une propriété plus générale montrant l'existence d'une limite à la diminution du nombre de niveaux hiérarchiques dans les hiérarchies régulières consécutivement à l'informatisation du sommet hiérarchique.

Soit une hiérarchie régulière comportant H niveaux hiérarchiques. Soit q_h , le nombre d'agents appartenant au niveau h et soit s_h le nombre de subordonnés pour chacun de ces agents. Soit d , la capacité de traitement du sommet hiérarchique. On constate une disparition de $H - L$

niveaux hiérarchiques sans augmentation du délai quand : $\sum_{h=L}^H s_h \geq \frac{q_{L-1}}{d}$.

Au contraire, la réduction du nombre de niveaux hiérarchiques implique une augmentation du délai lorsque $\sum_{h=L}^H s_h < \frac{q_{L-1}}{d}$.

La réduction du nombre des agents est donc plus forte dans la hiérarchie régulière quand leur capacité de traitement est égale au nombre de leurs subordonnés. L'informatisation du

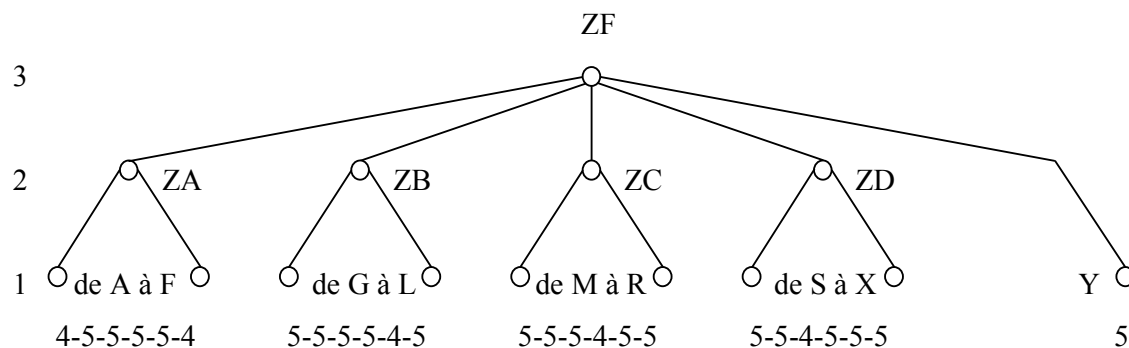
sommet hiérarchique engendre une diminution du nombre des niveaux intermédiaires dont l'importance dépend des caractéristiques de l'organisation. Dans la hiérarchie régulière « large », 1 niveau et 5 agents disparaissent alors que 3 niveaux 14 agents disparaissent dans la hiérarchie régulière « étroite ».

Jusqu'à maintenant, seuls les résultats de l'informatisation d'un seul agent ont été présentés. Nous allons donc considérer les conséquences de l'augmentation de la capacité de traitement de plusieurs agents sur la taille des activités administratives. Il apparaît que l'informatisation de plusieurs agents peut engendrer une diminution de leur nombre via la modification des liens et la redistribution des données initiales.

3) *L'informatisation de plusieurs agents peut engendrer une diminution de leur nombre via la modification des liens et la redistribution des données initiales*

Nous avons vu auparavant que la capacité de traitement d'un agent doit dépasser un certain seuil pour impliquer une diminution du nombre des agents. Celle-ci suppose le doublement de la capacité de traitement des agents dans la hiérarchie régulière « large » et son augmentation de 50% dans la hiérarchie régulière « étroite ». A présent, il s'agit de déterminer si une augmentation de la capacité de traitement concernant plusieurs agents et pouvant modifier les liens entre eux est suffisante pour réduire la taille des activités administratives.

Dans la hiérarchie régulière « large », supposons que la capacité de traitement des agents ZA, ZB, ZC et ZD augmente de 20%. Ces agents sont désormais capables de traiter 6 rapports en 5 périodes, ce qui conduit à supprimer l'agent ZE, comme le montre le graphique ci-dessous.

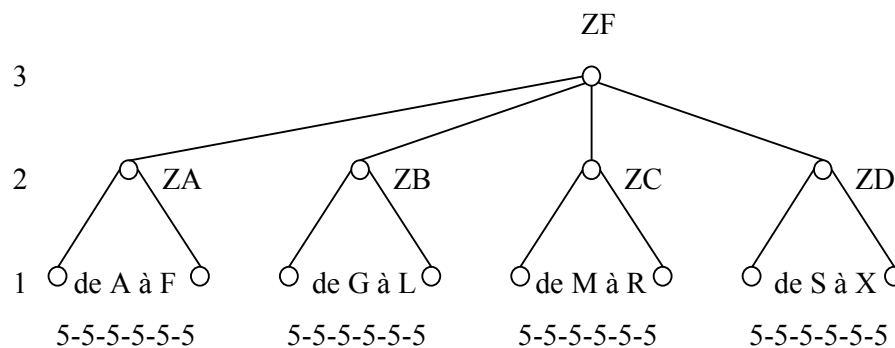


Graphique 4.14 : Hiérarchie irrégulière « large » traitant 120 données en 13 périodes avec 30 agents (sans ZE) après informatisation de ZA, ZB, ZC, ZD (d = 1,2)

L'agent ZA traite les 6 rapports envoyés par ses subordonnés en 5 périodes et achève donc son travail à la fin de la période 9. L'agent ZB traite les 6 rapports envoyés par ses subordonnés en un peu plus de 9 périodes. Ceci s'explique par l'existence d'un temps mort

entre le traitement du rapport envoyé par l'agent K à la fin de la période 4 et le traitement du rapport envoyé par l'agent G à la fin de la période 5. De même, les agents ZC et ZD traitent les 6 rapports envoyés par leurs subordonnés en un peu plus de 9 périodes. L'agent ZF traite le rapport de l'agent Y au cours de la période 6 et achève le traitement des rapports envoyés par ses 4 autres subordonnés à la fin de la période 13.

De plus, quand les données de l'agent Y peuvent être redistribuées aux 5 agents traitant 4 données, cet agent disparaît mais le délai est accru d'une période comme le montre le graphique ci-dessous.



Graphique 4.15 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 14 périodes avec 29 agents (sans ZE ni Y) après informatisation de ZA, ZB, ZC, ZD (d = 1,2)

Les agents ZA, ZB, ZC et ZD reçoivent chacun 6 rapports à la fin de la période 5 dont ils achèvent le traitement à la fin de la période 10. Par conséquent, l'agent ZF achève de traiter les 4 rapports de ses subordonnés à la fin de la période 14. Ce délai est supérieur à celui obtenu sans la redistribution des données et à celui obtenu sans changement organisationnel. Dans ce dernier cas, l'augmentation de la capacité de traitement de 20% pour les agents ZA, ZB, ZC et ZD se traduit par un délai de 13,166 périodes. L'évolution des liens consécutive à l'informatisation permet de traiter les données un peu plus rapidement et avec un agent en moins.

Nous avons donc montré que l'ampleur de la diminution du nombre des agents dépend des seuils associés à la capacité de traitement, mais aussi des caractéristiques de l'organisation. D'abord, le doublement de la capacité de traitement d'un agent peut faire disparaître un autre agent, ce qui réduit le délai dans la hiérarchie régulière « large », alors qu'il suffisait d'une augmentation de 50% dans la hiérarchie régulière « étroite ». Ensuite, la diminution du nombre des agents est plus forte dans la hiérarchie régulière « étroite » quand leur capacité de traitement est égale au nombre de leurs subordonnés. Enfin, l'informatisation de plusieurs

agents peut engendrer une diminution de leur nombre via la modification des liens et la redistribution des données initiales.

Lors de cette deuxième section, nous avons étudié les conséquences de l'informatisation sur l'efficacité des activités administratives en présence du changement organisationnel. Nous avons montré que l'apparition des différentes formes du changement organisationnel suppose que la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil. De plus, l'ampleur de la diminution du nombre des agents dépend des seuils associés à la capacité de traitement, mais aussi des caractéristiques de l'organisation. Le changement organisationnel issu de l'informatisation contribue à l'efficacité des activités administratives en accentuant la diminution du délai ou en se manifestant par une diminution du nombre des agents.

La section suivante tient compte des conséquences de l'environnement sur l'efficacité des activités administratives. Il apparaît que l'environnement affecte l'efficacité des activités administratives, ce qui peut susciter l'informatisation et le changement organisationnel.

III) L'environnement affecte l'efficacité des activités administratives, ce qui suscite l'informatisation et le changement organisationnel

Nous avons vu lors du chapitre 2 que plusieurs conceptions de l'environnement sont envisageables. Bolton et Dewatripont (1994) se sont intéressés à la fréquence d'arrivée des données. La théorie des équipes tient compte des conséquences de la variance et de la volatilité des aléas sur la structure optimale des activités administratives. Plus récemment, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) ont intégré ce type d'incertitude dans les modèles d'agrégation de l'information de manière à prédire son influence sur la taille optimale de l'échantillon à traiter et sur la taille optimale des activités administratives.

Selon nous, l'évolution de l'environnement se manifeste par une augmentation de la quantité des données à traiter qui affecte l'efficacité des activités administratives en faisant augmenter le délai. Nous utilisons le modèle de Radner (1993) pour montrer comment le délai peut être maintenu en cas de doublement de la quantité des données à traiter. Nous verrons dans un premier temps que l'augmentation de la quantité des données à traiter peut susciter un changement organisationnel aux formes multiples qui est indépendant de l'informatisation. Nous verrons dans un deuxième temps que l'augmentation de la quantité des données à traiter peut susciter l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai à son niveau initial.

A- L'augmentation de la quantité des données à traiter peut susciter un changement organisationnel aux formes multiples qui est indépendant de l'informatisation

Le chapitre 2 a détaillé les conséquences de la variance et de la volatilité des aléas sur la structure puis sur la taille optimale des activités administratives. Les modèles s'inspirant de la théorie des équipes ne se sont pas intéressés à l'augmentation du délai issue de l'augmentation de la quantité des données à traiter et au changement organisationnel qui en résulte. Nous nous proposons d'utiliser le modèle de Radner (1993) pour étudier le changement organisationnel dans une optique de maintien du délai initial.

Nous verrons dans un premier temps que l'augmentation de la quantité des données à traiter peut impliquer la polyvalence des agents et la modification des liens entre les agents. Nous verrons dans un deuxième temps que l'augmentation de la quantité des données à traiter peut impliquer une augmentation du nombre des agents ou une décentralisation des décisions. Nous verrons dans un troisième temps que les différentes formes du changement organisationnel ne maintiennent plus le délai quand la quantité des données à traiter dépasse un certain seuil.

1) *L'augmentation de la quantité des données à traiter peut impliquer la polyvalence des agents et la modification des liens entre les agents*

Supposons que la quantité des données à traiter soit multipliée par deux ($N = 240$). Ceci a pour conséquence l'augmentation du délai dans les différentes structures administratives considérées auparavant. L'application des formules correspondant aux équations (1), (2) et (3) du chapitre précédent montre que le délai respectif de la structure irrégulière, des hiérarchies régulières et égalitaires augmente mais n'est pas multiplié par deux. Le tableau 4.12 montre le délai de ces différentes structures quand elles traitent 120, puis 240 données avec 31 agents.

Structure	C	HE2	HE5	HR5	HR2
Délai ($N = 120$)	9	11	13	14	15
Délai ($N = 240$)	13	15	17	19	23

Tableau 4.12 : Délais de traitement de 120, puis de 240 données par les hiérarchies régulières, les hiérarchies égalitaires et la structure irrégulière comportant 31 agents

Lors du chapitre précédent, nous avons montré que l'augmentation de la quantité des données à traiter fait augmenter le délai plus rapidement dans la hiérarchie régulière « étroite » que dans les autres structures. Le tableau ci-dessus montre que l'augmentation du délai est de 8 périodes. Deux solutions sont envisageables pour réduire le délai de 23 à 15 périodes en maintenant le nombre des agents constant. D'une part, il est possible de modifier la nature de

l'activité des agents en transformant une hiérarchie régulière en une hiérarchie égalitaire. D'autre part, il est possible de modifier les liens entre les agents en transformant la hiérarchie régulière « étroite » en une hiérarchie régulière « large », voire en une structure irrégulière.

Le tableau 4.12 montre que ces deux sortes de changement organisationnel ne permettent pas systématiquement de maintenir le délai à son niveau initial. Ainsi, la hiérarchie régulière « étroite » peut retrouver un délai de 15 périodes en rendant ses agents polyvalents. Elle peut réduire ce délai à 13 périodes en devenant une structure irrégulière. Mais sa transformation en une hiérarchie « large » donne un délai de 19 périodes trop élevé au regard du délai initial. Les hiérarchies régulières « larges » ne peuvent retrouver leur délai initial qu'en se transformant en une structure irrégulière. Enfin, la hiérarchie égalitaire « étroite » et la structure irrégulière ne peuvent pas retrouver leur délai initial.

Cet exemple montre que la polyvalence des agents et la modification des liens entre les agents ne suffisent pas toujours pour maintenir le délai quand le nombre de données à traiter augmente. A présent, il convient de tenir compte de deux autre forme de changement organisationnel destinée à maintenir le délai : l'augmentation du nombre des agents et la décentralisation des décisions.

2) L'augmentation de la quantité des données à traiter peut impliquer une augmentation du nombre des agents ou une décentralisation des décisions

La polyvalence des agents ou la transformation de leurs liens ne suffisent pas systématiquement pour maintenir le délai quand la quantité des données à traiter est doublée. Le moyen le plus simple pour faire face à une augmentation de la quantité des données à traiter est de recruter de nouveaux agents. Mais il est également possible de déléguer certaines décisions aux subordonnés du sommet hiérarchique. Ceci permet de traiter plus rapidement un plus petit nombre de données, éventuellement avec un plus petit nombre d'agents.

Le maintien de la centralisation des décisions par le recrutement nouveaux agents est rapidement coûteux. Quand la quantité des données à traiter est doublée dans la hiérarchie régulière « étroite », l'ajout de 16 agents lisant des données dans le premier niveau hiérarchique donne un délai de 17 périodes. L'augmentation du délai a été limitée à deux périodes au regard de la situation antérieure où 120 données étaient traitées par 31 agents. Pour retrouver un délai de 15 périodes, il faut ajouter 96 agents et deux étages à la hiérarchie régulière « étroite ».

Le maintien du délai par le recrutement de nouveaux agents étant coûteux, un autre moyen disponible pour maintenir le délai est de déléguer certaines décisions aux agents chargés du

traitement des rapports. Supposons que la hiérarchie régulière « étroite » traite 240 données avec 31 agents. La décentralisation des décisions permet d'obtenir un délai de 17 périodes quand les choix sont faits non plus par le sommet hiérarchique, mais par les 8 agents appartenant au deuxième niveau. Il est possible d'obtenir un délai de 15 périodes quand les décisions sont prises par les 16 agents du niveau 1 après traitement de 15 données par chacun d'entre eux.

Van Zandt (2004) considère d'une autre manière les liens entre l'environnement et la décentralisation des décisions. Selon lui, la volatilité des chocs favorise l'externalisation des unités décisionnelles et implique la présence d'un plus grand nombre d'entreprises de plus petite taille. Il est possible de transposer cette logique de scission des organisations dans le cadre du modèle de Radner (1993). Le délai de la hiérarchie régulière « étroite » est maintenu à 15 lorsque 5 décisions sont prises par des agents possédant respectivement 6, 5, 5, 5 et 5 subordonnés, sachant que 20 d'entre eux lisent 9 données et les 6 autres lisent 10 données.

Il est donc possible de maintenir le délai initial d'une hiérarchie régulière « étroite » comportant 31 agents lorsque la quantité des données à traiter passe de 120 à 240 par le recrutement de nouveaux agents et par la décentralisation des décisions. Néanmoins, la première solution est rapidement coûteuse et la seconde suppose une modification radicale des processus de décision.

Il s'agit à présent de comparer directement ces différentes formes du changement organisationnel pour savoir laquelle est la plus adaptée pour faire face à l'augmentation de la quantité des données à traiter. Nous allons voir que les différentes formes du changement organisationnel ne maintiennent plus le délai quand la quantité des données à traiter dépasse un certain seuil.

3) Les différentes formes du changement organisationnel ne maintiennent plus le délai quand la quantité des données à traiter dépasse un certain seuil

Soit DI , le délai initial de la structure administrative faisant face à l'augmentation de la quantité des données à traiter. Quelle que soit la structure, la décentralisation des décisions est inopérante quand les agents chargés du traitement des données initiales doivent traiter plus de DI données. Par exemple, dans la hiérarchie régulière « étroite », les 16 agents du premier niveau hiérarchique ont besoin d'un délai de 16 périodes pour traiter 256 données. Dans la hiérarchie régulière « large », la décentralisation des décisions est inopérante quand les 25 agents doivent traiter 375 données, car 15 périodes sont nécessaires alors que le délai initial était de 14 périodes.

L'analyse du recrutement de nouveaux agents est plus complexe car elle dépend des caractéristiques de la structure qui doit faire face à l'augmentation de la quantité des données à traiter. L'intérêt de cette solution est d'autant plus faible que le délai nécessaire à l'agrégation des rapports est long, comme c'est le cas dans la hiérarchie régulière « large ». Nous avons montré lors du chapitre précédent que dans cette structure, 4 périodes sont consacrées à la lecture des données initiales et 10 périodes à l'agrégation des rapports. Dans la hiérarchie régulière « étroite », ces délais sont respectivement de 7 et de 8 périodes, ce qui donne un sens à la décentralisation du traitement.

Nous avons remarqué lors de ce chapitre que le maintien du délai à 15 périodes consécutivement au doublement de la quantité des données à traiter suppose d'ajouter deux étages à la hiérarchie régulière « étroite ». Dans ce cas, le délai d'agrégation des rapports est de 12 périodes au lieu de 8 auparavant et le premier niveau hiérarchique comporte 64 agents. On en déduit le nombre de données pour lequel le recrutement de nouveaux est inopérant pour maintenir le délai à 15 périodes dans la hiérarchie régulière « étroite » :

$$\frac{N}{64} + 12 = 16, \text{ soit } N = 256.$$

La décentralisation des décisions et l'augmentation du nombre des agents s'avèrent inopérants dans la hiérarchie régulière « étroite » à partir de 256 données. Pourtant la première solution est moins coûteuse car elle ne requiert pas un plus grand nombre d'agents.

En ce qui concerne la hiérarchie régulière « large », le fait d'ajouter un étage comportant 50 agents fait augmenter le délai d'agrégation des rapports à 12 périodes. Par conséquent, le délai initial de 14 périodes ne peut plus être maintenu quand : $\frac{N}{50} + 12 = 15$, soit $N = 150$.

Enfin, nous avons vu que l'adaptation de l'organisation à l'augmentation de la quantité des données à traiter par la polyvalence des agents ou par la modification des liens n'est pas toujours possible. Ainsi, la transformation d'une hiérarchie régulière « étroite » en une hiérarchie égalitaire ne maintient pas le délai à 15 périodes quand $\frac{N}{31} + 8 = 16$, soit $N = 248$.

La transformation d'une hiérarchie régulière « large » en une hiérarchie égalitaire ne maintient plus le délai à 14 périodes quand $\frac{N}{31} + 10 = 15$, soit $N = 155$.

La transformation d'une hiérarchie régulière « étroite » en une structure irrégulière ne maintient plus le délai initial de 15 périodes quand : $\left\lfloor \frac{N}{31} \right\rfloor + \lceil \log_2 (31 + N \bmod 31) \rceil > 15$, donc

quand $N = 312$. En effet, on remarque que $310 / 31 = 10$, et que $\log_2 31 = 4,95$ est arrondi à 5, ce qui donne un délai de 15. Pour $N = 312$, $312 / 31$ est arrondi à 10 et $\log_2 33 = 5,04$ est arrondi à 6 ce qui donne un délai supérieur à 15.

La transformation d'une hiérarchie régulière « large » en une structure irrégulière ne maintient plus le délai initial de 14 périodes quand : $\left\lfloor \frac{N}{31} \right\rfloor + \lceil \log_2 (31 + N \bmod 31) \rceil > 14$, autrement dit, quand $N = 281$. En effet, on remarque que $279 / 31 = 9$, et que $\log_2 31 = 4,95$ est arrondi à 5, ce qui donne un délai de 14. Pour $N = 281$, $281 / 31$ est arrondi à 9 et $\log_2 33 = 5,04$ est arrondi à 6 ce qui donne un délai supérieur à 14.

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux résultats obtenus.

	Hiérarchie « étroite »	Hiérarchie « large »
Polyvalence	248	155
Modification des liens	312	281
Augmentation du nombre des agents	256	150
Décentralisation des décisions	256	375

Tableau 4.13 : Nombre de données pour lequel les différentes formes du changement organisationnel ne maintiennent pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » et dans la hiérarchie régulière « large »

Dans la hiérarchie régulière « étroite », l'adaptation de l'organisation pour un nombre d'agents fixé permet de traiter un plus grand nombre de données que dans le cas d'une évolution du nombre des agents. Dans le cas de la hiérarchie régulière « large », la décentralisation des décisions est plus intéressante car elle comporte un plus grand nombre d'agents chargés du traitement des données initiales. Enfin, les modalités du changement organisationnel disponibles dépendent de l'importance de l'augmentation de la quantité des données à traiter. Quand 375 données doivent être traitées, aucune sorte de changement organisationnel ne permet de maintenir le délai.

D'autres moyens que le changement organisationnel sont disponibles pour faire face à une augmentation de la quantité des données à traiter. Celle-ci peut susciter l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai à son niveau initial.

B- L'augmentation de la quantité des données à traiter peut susciter l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai à son niveau initial

Lors du chapitre 2, nous avons détaillé les conséquences de l'informatisation sur la structure et sur la taille optimale des activités administratives. Les modèles s'inspirant de la théorie des équipes ne considèrent pas directement l'informatisation comme un moyen de maintenir le délai à son niveau initial quand la quantité des données à traiter augmente. Pourtant, Meagher, Orbay et Van Zandt (2004) considèrent que l'augmentation de la capacité de traitement des agents n'a pas d'incidence sur la taille optimale des activités administratives quand les agents ne sont pas rémunérés. Selon eux, l'informatisation permet de traiter un plus grand nombre de données pour un nombre d'agents identique.

Le modèle de Radner (1993) est utilisé pour déterminer dans quelle mesure l'informatisation permet de maintenir le délai initial malgré l'augmentation de la quantité des données à traiter. Nous verrons dans un premier temps que l'informatisation ne maintient plus le délai quand la quantité des données à traiter dépasse un seuil supérieur à celui associé au changement organisationnel. Nous verrons dans un deuxième temps que la conjonction du changement organisationnel et de l'informatisation permet de traiter un plus grand nombre de données.

1) *L'informatisation ne maintient plus le délai quand la quantité des données à traiter dépasse un seuil supérieur à celui associé au changement organisationnel*

Nous avons vu lors de la première section que le doublement de la capacité de traitement des 31 agents divise le délai par deux dans les différentes structures administratives. Or, le doublement de la quantité des données à traiter ne fait jamais doubler le délai, comme le rappelle le tableau 4.12.

Structure	C	HE2	HE5	HR5	HR2
Délai (N = 120)	9	11	13	14	15
Délai (N = 240)	13	15	17	19	23

Tableau 4.12 : Délais de traitement de 120, puis de 240 données par les hiérarchies régulières, les hiérarchies égalitaires et la structure irrégulière comportant 31 agents

Le doublement de la capacité de traitement de l'ensemble des agents permet donc de faire face au doublement de la quantité des données à traiter. Néanmoins, le doublement de la capacité de traitement ne maintient pas le délai indépendamment de l'augmentation de la quantité des données à traiter. Au-delà d'un certain seuil, l'informatisation ne permet plus de maintenir le délai à son niveau initial. Nous allons voir que ce seuil est supérieur à ceux

associés aux différentes formes du changement organisationnel considérées auparavant pour la hiérarchie régulière « étroite » et pour la hiérarchie régulière « large ».

Dans la hiérarchie régulière « étroite » où la capacité de traitement de l'ensemble des agents a été doublée, le délai ne peut plus être maintenu à 15 périodes quand :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{16} \right\rfloor + 8 \right) > 15 \Leftrightarrow \frac{N}{16} + 8 = 31 \Leftrightarrow N = 368$$

Dans la hiérarchie régulière « large » où la capacité de traitement de l'ensemble des agents a été doublée, le délai ne peut plus être maintenu à 14 périodes quand :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{25} \right\rfloor + 10 \right) > 14 \Leftrightarrow \frac{N}{25} + 10 = 29 \Leftrightarrow N = 475$$

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux résultats obtenus.

	Hiérarchie « étroite »	Hiérarchie « large »
Polyvalence	248	155
Modification des liens	312	281
Augmentation du nombre des agents	256	150
Décentralisation des décisions	256	375
Informatisation totale	368	475

Tableau 4.14 : Nombre de données pour lequel les différentes formes du changement organisationnel et l'informatisation totale ne maintiennent pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » et dans la hiérarchie régulière « large »

Face à une augmentation de la quantité des données à traiter, il est préférable de recourir à l'informatisation de la totalité des agents de la structure plutôt que de recourir au changement organisationnel. Ceci nous conduit à prédire que la taille des activités administratives n'évolue pas consécutivement à l'informatisation bien que la quantité des données à traiter augmente. L'informatisation totale ne permet pas le maintien du délai quand la quantité des données à traiter est supérieure à 475. Il est néanmoins possible de dépasser ce seuil quand le changement organisationnel et l'informatisation sont envisagés conjointement.

2) *La conjonction du changement organisationnel et de l'informatisation permet de traiter un plus grand nombre de données*

L'informatisation ne permet plus de maintenir le délai à son niveau initial quand le nombre de données à traiter dépasse 368 dans la hiérarchie régulière « étroite » et 475 dans la hiérarchie régulière « large ». Ces seuils sont supérieurs à ceux associés aux différentes formes du changement organisationnel. Nous allons voir que la conjonction du changement organisationnel et de l'informatisation permet de traiter un plus grand nombre de données.

Dans la hiérarchie régulière « étroite », l'informatisation exhaustive de la structure associée à la polyvalence des agents ne maintient plus le délai initial de 15 périodes quand :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{31} \right\rfloor + 8 \right) > 15 \Leftrightarrow \frac{N}{31} + 8 = 31 \Leftrightarrow N = 713.$$

Dans la hiérarchie régulière « étroite », l'informatisation exhaustive de la structure associée à la modification des liens entre les agents ne maintient plus le délai initial de 15 périodes

quand : $\frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{31} \right\rfloor + \lceil \log_2 (31 + N \bmod 31) \rceil \right) > 15$, ou quand $N = 777$.

En effet, on remarque que $775 / 31 = 25$, et que $\log_2 31 = 4,95$ est arrondi à 5, ce qui donne un délai de 15. Pour $N = 777$, $777 / 31$ est arrondi à 25 et $\log_2 33 = 5,04$ est arrondi à 6 ce qui donne un délai supérieur à 15.

Dans la hiérarchie régulière « étroite », nous avons vu que l'ajout de deux étages et de 96 agents permet le maintien du délai à 15 périodes. L'informatisation exhaustive de la structure associée à l'augmentation du nombre des agents ne maintient plus le délai initial de 15

périodes quand : $\frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{64} \right\rfloor + 8 \right) > 15 \Leftrightarrow \frac{N}{64} + 8 = 31 \Leftrightarrow N = 1472$.

Dans la hiérarchie régulière « étroite », l'informatisation associée à la décentralisation des décisions est toujours inopérante pour maintenir le délai initial de 15 périodes quand :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N}{16} \right) = 16 \Leftrightarrow \frac{N}{32} = 16 \Leftrightarrow N = 512.$$

Dans la hiérarchie régulière « large », l'informatisation exhaustive de la structure associée à la polyvalence des agents ne maintient plus le délai initial de 14 périodes quand :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{31} \right\rfloor + 10 \right) > 14 \Leftrightarrow \frac{N}{31} + 10 = 29 \Leftrightarrow N = 589.$$

Dans la hiérarchie régulière « large », l'informatisation exhaustive de la structure associée à la modification des liens entre les agents ne maintient plus le délai initial de 14 périodes quand :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{31} \right\rfloor + \lceil \log_2 (31 + N \bmod 31) \rceil \right) > 14, \text{ ou quand } N = 715.$$

En effet, on remarque que $713 / 31 = 23$, et que $\log_2 31 = 4,95$ est arrondi à 5, ce qui donne un délai de 14. Pour $N = 715$, $715 / 31$ est arrondi à 23 et $\log_2 33 = 5,04$ est arrondi à 6, ce qui donne un délai supérieur à 14.

Dans la hiérarchie régulière « large », nous avons vu que l'ajout d'un étage et de 50 agents ne permet pas le maintien du délai à 14 périodes quand $N = 150$. L'informatisation exhaustive de la structure associée à l'augmentation du nombre des agents ne maintient plus ce délai initial

$$\text{de 14 périodes quand : } \frac{1}{2} \cdot \left(\left\lfloor \frac{N}{50} \right\rfloor + 12 \right) > 14 \Leftrightarrow \frac{N}{50} + 12 = 29 \Leftrightarrow N = 850$$

Dans la hiérarchie régulière « large », l'informatisation associée à la décentralisation des décisions est toujours inopérante pour maintenir le délai initial de 14 périodes quand :

$$\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N}{25} \right) = 15 \Leftrightarrow \frac{N}{50} = 15 \Leftrightarrow N = 750$$

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux résultats obtenus. Les chiffres entre parenthèses rappellent les résultats obtenus en cas d'informatisation totale sans changement organisationnel.

	Hiérarchie « étroite »	Hiérarchie « large »
Polyvalence	713 (248)	589 (155)
Modification des liens	777 (312)	715 (281)
Augmentation du nombre des agents	1472 (256)	850 (150)
Décentralisation des décisions	512 (256)	750 (375)
Informatisation totale	368	475

Tableau 4.15 : Nombre de données pour lequel les différentes formes du changement organisationnel associées à l'informatisation totale ne maintiennent pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » et dans la hiérarchie régulière « large »

Face à une forte augmentation de la quantité des données à traiter, la meilleure solution pour maintenir le délai consiste à recruter de nouveaux agents et à les informatiser. Cette solution est néanmoins extrêmement coûteuse : elle suppose l'ajout de 64 agents dans la hiérarchie

régulière « étroite » et de 50 agents dans la hiérarchie régulière « large », soit une multiplication des effectifs par 3. Néanmoins, l'adaptation à l'augmentation du nombre des données à traiter peut s'effectuer dans un premier temps par l'informatisation, puis dans un deuxième temps par l'augmentation des effectifs.

Lors de cette troisième section, nous avons assimilé l'environnement à l'augmentation de la quantité des données à traiter. L'augmentation du délai qui en résulte suscite un changement organisationnel aux formes multiples indépendamment de l'informatisation. Au-delà d'un certain seuil, le changement organisationnel ne permet plus de faire face à l'augmentation de la quantité des données à traiter, ce qui peut engendrer l'informatisation de la totalité des agents afin de maintenir le délai à son niveau initial. Enfin, la conjonction de l'informatisation et du changement organisationnel permet de traiter un plus grand nombre de données, en particulier quand le nombre des agents augmente.

CONCLUSION DU CHAPITRE 4

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le cadre méthodologique exposé lors du chapitre 3 pour étudier les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience. Notre objectif était d'apporter un complément aux résultats donnés par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes qui étudient ces liens d'un point de vue particulier.

La première section décrit les conséquences de l'informatisation sur l'efficience en l'absence du changement organisationnel. Elle montre que la diminution du délai issue de l'amélioration de la capacité de traitement d'un agent est d'autant plus forte que cet agent traite seul un grand nombre de données. L'informatisation de plusieurs agents engendre une réduction du délai par paliers pouvant faire obstacle à la diffusion des technologies. Ces résultats confirment l'influence de l'organisation dans la diffusion des technologies mise en évidence par Brousseau et Rallet (1997, 1998), puis par Caby, Greenan, Gueissaz et Rallet (1999).

La deuxième section décrit les conséquences de l'informatisation sur l'efficience en présence du changement organisationnel. D'une part, elle montre que l'apparition des différentes formes du changement organisationnel suppose que la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil. D'autre part, elle montre que la diminution du nombre des agents consécutive à l'informatisation dépend à la fois de la capacité de traitement et des caractéristiques de l'organisation (nombre de subordonnés pour chaque agent). Ces résultats complètent ceux de Cukrowski et Baniak (1999) qui estiment que la diminution de la taille optimale des activités administratives est conditionnée à un changement technique radical.

La troisième section assimile l'environnement à l'augmentation de la quantité des données à traiter qui affecte l'efficience en faisant augmenter le délai. A partir d'un certain nombre de données à traiter, le délai initial ne peut plus être maintenu, ce qui suscite l'informatisation, voire le recrutement de nouveaux agents. Ces résultats se distinguent de ceux des modèles s'inspirant de la théorie des équipes qui ne traitent pas directement des liens entre environnement, informatisation et efficience.

Ces résultats nous conduisent à de nouvelles prédictions quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives. D'une part, la diminution du nombre des agents suppose une augmentation suffisante de la capacité de traitement. D'autre part, l'augmentation du nombre des agents suppose que la quantité des données à traiter dépasse un certain seuil. La taille ne change pas quand les seuils critiques ne sont pas atteints. Ces prédictions font l'objet d'une vérification empirique présentée lors de la troisième partie.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

La première partie a présenté les principaux résultats issus des modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Elle a mis en évidence le point de vue particulier retenu par ces modèles qui considèrent l'informatisation et l'environnement comme des facteurs de contingence qui font évoluer l'organisation optimale des activités administratives. Lors de cette deuxième partie, nous avons obtenu des résultats venant compléter ceux obtenus par ces modèles relativement aux liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives.

Le chapitre 3 a introduit une innovation méthodologique en retenant une définition de l'efficience distincte de celle de Radner (1993). Nous y considérons comme efficiente l'organisation qui traite le plus rapidement une certaine quantité de données pour un même nombre d'agents dont la capacité de traitement est homogène. Ce critère permet de trouver les facteurs explicatifs de la différence de délai pour sept structures administratives au regard de la structure irrégulière. Le délai dépend du nombre relatif des agents et des données, de la répartition des données entre les agents et de la manière dont ils sont coordonnés. L'organisation et l'environnement affectent donc l'efficience des activités administratives.

Le chapitre 4 étudie les conséquences de l'informatisation sur l'efficience des activités administratives en l'absence du changement organisationnel, puis en sa présence et enfin tient compte de l'environnement (augmentation de la quantité des données à traiter). En l'absence de changement organisationnel, la diminution du délai et la diffusion des technologies dépendent de la structure à laquelle s'applique l'informatisation. L'informatisation suscite le changement organisationnel quand l'amélioration de la capacité de traitement dépasse un certain seuil. Enfin, l'environnement affecte le délai, ce qui peut susciter l'informatisation, voire le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai à son niveau initial.

Cette deuxième partie nous a conduit à de nouvelles prédictions quant aux liens existant entre informatisation, environnement et taille des activités administratives. La taille des activités administratives diminue quand la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil, la taille augmente quand la quantité des données à traiter dépasse un certain seuil et la taille reste stable quand les seuils critiques ne sont pas atteints. Ces prédictions font l'objet d'une vérification empirique présentée lors de la troisième partie consacrée aux liens entre TI et taille des entreprises.

TROISIEME PARTIE : INFORMATISATION ET TAILLE DES ENTREPRISES : ASPECTS EMPIRIQUES

Lors de la première partie, nous avons mis en évidence la diversité des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes quant aux liens entre informatisation, environnement et organisation des activités administratives. Nous avons également remarqué lors de cette première partie le petit nombre des études empiriques se consacrant à la vérification des prédictions offertes par ces modèles. Delmastro (2002), puis Colombo et Delmastro (2004) se consacrent respectivement à l'étude des déterminants du nombre de niveaux hiérarchiques et de la délégation des décisions dans les usines métallurgiques italiennes. Ces auteurs utilisent le nombre d'employés comme variable explicative, mais ils n'ont pas étudié les déterminants de la taille des entreprises.

Lors de cette troisième partie, nous nous proposons de considérer empiriquement les liens entre informatisation et taille des entreprises. Le chapitre 5 procède à une recension des études empiriques associant informatisation, frontières et taille des entreprises. Ces études ne font jamais mention des modèles s'inspirant de la théorie des équipes recensés lors de la première partie. Ils se fondent sur la théorie des contrats incomplets et traitent la question de l'évolution de la taille des entreprises conjointement avec celle de l'évolution des frontières.

Le chapitre 6 se livre à une étude empirique originale des liens entre informatisation et taille des entreprises comptables. Elle se fonde sur les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » conduite en 1997 par l'INSEE et la DARES auprès des dirigeants et des salariés de ces entreprises. Celles-ci sont composées à 85% d'employés, de cadres et de professions intermédiaires exerçant des fonctions administratives. L'étude empirique se propose de déterminer si l'informatisation, les fluctuations prévisibles ou imprévues de la demande ou encore l'incertitude sur les marchés affectent la taille des entreprises comptables.

CHAPITRE 5 : UNE RECENSION DES ETUDES EMPIRIQUES ASSOCIANT INFORMATISATION, FRONTIERES ET TAILLE DES FIRMES

L'étude de l'influence des TI sur les frontières de la firme se heurte à des difficultés relatives à la définition des frontières. En effet, les TI ne se contentent pas de faire évoluer le pourcentage des activités prises en charge respectivement par le marché et l'organisation. Elles peuvent également brouiller les frontières de la firme en favorisant l'émergence d'organisations hybrides intégrant des mécanismes de marché. Par exemple, Foray (1997) montre que l'utilisation des EDI favorise une coordination des relations inter-firmes indépendante du marché.

L'étude des effets des TI sur la taille des firmes suppose de choisir au préalable la mesure de la taille. Brynjolfsson, Gurbaxani, Malone et Kambil (1994) puis Wenger (1999) recensent plusieurs mesures envisageables telles que la valeur boursière, la valeur des actifs physiques, le nombre d'employés, le nombre d'établissements, la valeur ajoutée ou la masse salariale. Ces différents auteurs considèrent que le nombre d'employés ou le nombre d'établissements donnent une mesure de la taille plus précise que la valeur boursière ou la valeur des actifs physiques.

De plus, l'étude de l'effet des TI sur les frontières des firmes ne peut être séparée de l'étude de l'effet des TI sur la taille des firmes. L'évolution des frontières de la firme implique une évolution de la taille, alors que cette dernière ne s'explique qu'en partie par l'évolution des frontières. Les études empiriques s'appuient pourtant sur une problématique dominante, qu'il s'agisse de l'évolution des frontières ou de la taille des firmes. Dans un premier temps, il est possible de se demander si les TI favorisent le recours à des prestataires extérieurs. Dans un deuxième temps, il est possible de se demander si les TI contribuent à réduire la taille moyenne des firmes.

I) Les TI favorisent-elles le recours à des prestataires extérieurs ?

L'effet des TI sur les frontières de la firme est difficile à aborder d'un point de vue théorique en raison de la variété des modes de coordination qui ne se résume pas à l'opposition entre la production interne et le recours au marché. Par exemple, Malone et Smith (1988) montrent que le marché décentralisé est une structure de coordination adéquate quand l'objectif est d'être moins vulnérable aux fluctuations de l'environnement. Concrètement, cette structure prend des formes diverses : elle peut consister en des petites firmes coordonnées par le marché ou bien se manifester par des adhocraties dans les grandes firmes.

De plus, le choix du mode de coordination des activités économiques ne dépend qu'en partie des TI. Malone, Yates et Benjamin (1987) analysent l'évolution passée et tentent de prédire l'évolution future de ces modes de coordination en s'inspirant de la théorie des coûts de transaction de Williamson (1975). Selon eux, les TI permettent de décrire des produits plus complexes et réduisent la spécificité des actifs, ce qui favorise la coordination par le marché. Ces auteurs estiment cependant que la constitution de grandes firmes intégrées au cours du 19^{ème} siècle s'explique plus par la recherche des économies d'échelles que par l'effet de l'utilisation du télégraphe.

Enfin, l'analyse théorique du choix entre la firme ou le marché considère rarement l'influence des TI. La théorie des contrats incomplets de Grossman et Hart (1986) distingue la firme où un petit nombre d'agents détient les droits de propriété associés aux actifs physiques du marché où tous les agents possèdent ces droits. Des développements plus récents de cette théorie montrent l'existence d'effets contradictoires des TI qui peuvent engendrer une intégration plus poussée des firmes ou un recours au marché plus marqué. Ces développements seront présentés dans un premier temps avant de considérer dans un deuxième temps une application empirique au secteur du camionnage américain.

A- L'étude de l'influence contradictoire des TI sur les frontières de la firme dans le cadre de la théorie des contrats incomplets

Selon la théorie des contrats incomplets exposée par Grossman et Hart (1986), puis Hart et Moore (1990), le fait de posséder un actif physique permet de décider de la répartition des droits résiduels de contrôle qui lui sont attachés. Ceux-ci font office de mécanisme incitatif visant à obtenir des agents à rationalité limitée un niveau d'effort optimal malgré l'incertitude relative à leur rémunération. Quand le contrôle de l'action des agents est difficile, le marché est préférable à la firme car il suppose que les agents possèdent les actifs. Holmstrom et Milgrom (1991, 1994) étendent cette théorie des contrats incomplets au cas où les agents doivent accomplir plusieurs tâches. D'après eux, la firme est supérieure au marché pour obtenir une allocation optimale de l'effort de chaque agent entre les différentes tâches.

La théorie des contrats incomplets a fait l'objet de plusieurs enrichissements pour étudier l'effet des TI sur les frontières de la firme. Dans un premier temps, Brynjolfsson (1994) ajoute les actifs informationnels au cadre théorique de Hart et Moore (1990) limité aux seuls actifs physiques. Dans un deuxième temps, Baker et Hubbard (2003) s'inspirent à la fois de Grossman et Hart (1986) et de Holmstrom et Milgrom (1994) pour tenir compte de l'effet des

TI sur la répartition de l'effort des agents entre les tâches et sur l'allocation optimale des actifs physiques à court terme.

1) *La prise en compte des actifs physiques et informationnels dans la théorie des contrats incomplets*

Brynjolfsson (1994) se propose de montrer comment les TI influencent les frontières de la firme en s'inspirant de la théorie des contrats incomplets de Hart et Moore (1990). Il considère une situation où un entrepreneur détient un actif informationnel inaliénable alors qu'un employé détient un actif physique complémentaire du premier. L'entrepreneur possède une connaissance productive indispensable à l'employé pour utiliser l'actif physique. L'entrepreneur est exposé au risque de hold-up lors du partage du surplus car l'employé peut menacer de produire avec un autre entrepreneur. Le niveau d'effort des deux agents est optimal quand l'entrepreneur est propriétaire de l'actif physique et de l'actif informationnel, ce qui rend la firme préférable au marché.

Lors de la deuxième étape du raisonnement, Brynjolfsson (1994) envisage que les TI puissent rendre l'actif informationnel aliénable, par exemple à l'aide des systèmes experts ou des bases de données. Dans ce cas, il est possible que la transmission de l'information à l'employé soit préférable au transfert de la propriété de l'actif physique à l'entrepreneur. Le caractère souvent tacite de la connaissance limite cependant sa diffusion à un groupe restreint d'agents indépendamment de l'importance de la baisse des coûts de transmission de l'information obtenue à l'aide des TI.

La troisième étape du raisonnement part d'une situation où plusieurs agents détiennent un actif informationnel complémentaire avec l'actif physique détenu par un seul agent. Les agents en possession des actifs informationnels peuvent être confrontés au risque de hold-up et leur niveau d'effort est sous-optimal. La situation optimale où un agent centralise l'actif physique et les actifs informationnels correspond à la firme hiérarchique taylorienne. L'existence d'un partenariat où le contrôle des actifs est exercé par le groupe majoritaire est aussi envisageable, par exemple dans les cabinets d'avocats. L'utilisation des TI pour le suivi de l'activité individuelle réduit l'incertitude et la pertinence de l'utilisation des droits résiduels de contrôle comme mécanisme incitatif.

La quatrième étape du raisonnement considère l'existence de plusieurs actifs physiques sans tenir compte des éventuelles économies d'échelles liées à leur utilisation. Le niveau d'effort est optimal quand tout détenteur d'un actif informationnel peut accéder à un actif physique. En favorisant la diffusion de l'actif informationnel vers les employés, les TI contribuent à la

décentralisation de la propriété des actifs et impliquent un recours accru au marché. De plus, les TI modifient les frontières de la firme en rendant les actifs physiques moins spécifiques. Le marché est alors préférable à la firme comme l'ont montré Malone, Yates et Benjamin (1987) dans le cadre de la théorie des coûts de transaction. Les externalités de réseau ou les standards propriétaires favorisent au contraire la coordination par la firme.

La cinquième étape du raisonnement introduit une complémentarité entre les actifs informationnels. Le niveau d'effort des agents en possession d'un actif informationnel n'est pas optimal en raison du risque de hold-up. Le seul moyen permettant d'atténuer ce phénomène est de réduire le nombre de liens entre les agents par une coordination centralisée où chaque agent ne communique qu'avec le coordinateur. Ce mode de coordination est-il mis en œuvre à l'intérieur d'une firme ou bien s'applique-t-il aux relations inter-firmes ?

Brynjolfsson (1994) montre que l'appropriation des actifs physiques par un seul agent est optimale quand le coordinateur possède une information essentielle pour l'efficacité des actifs physiques. Cette centralisation des actifs physiques est également optimale lorsque ces actifs sont complémentaires. Par conséquent, la coordination centralisée est plus efficace quand elle s'exerce à l'intérieur d'une firme plutôt que sur un marché. Il se peut cependant que les TI permettent une coordination directe entre les agents en raison de la diminution des coûts de coordination. La nécessité d'une coordination centralisée et d'une centralisation de la propriété des actifs physiques est alors moins impérieuse.

Brynjolfsson (1994) en conclut que les TI ont des effets contradictoires sur les frontières de la firme pouvant se manifester simultanément. D'une part, les TI conduisent à utiliser le marché comme mode de coordination des activités économiques pour trois raisons. Premièrement, les TI favorisent la diffusion des actifs informationnels vers les employés et la décentralisation de la propriété des actifs physiques. Deuxièmement, les TI donnent une plus grande flexibilité d'utilisation aux actifs physiques et diminuent le risque associé au hold-up, ce qui rend l'intégration moins pertinente. Troisièmement, les TI permettent une coordination directe entre les agents ce qui réduit la centralisation des actifs.

D'autre part, les TI renforcent l'intégration des firmes pour deux raisons. Premièrement, les externalités de réseau impliquent la centralisation des actifs physiques. Deuxièmement, les TI rendent plus aisé le suivi de l'action des agents et atténuent l'importance des droits résiduels de contrôle en tant que mécanisme incitatif.

La prise en compte des actifs informationnels dans la théorie des contrats incomplets offre une vision élaborée de l'effet des TI sur les frontières de la firme. D'une part, elle intègre les résultats obtenus par la théorie des contrats incomplets en montrant que des actifs plus

flexibles jouent en faveur de la coordination par le marché. D'autre part, elle complète la théorie de la coordination en mettant en évidence le lien entre coordination centralisée et centralisation de la propriété des actifs. En dépit de son intérêt, cette analyse du lien entre TI et frontières de la firme n'a pas fait l'objet d'une vérification empirique. Néanmoins, certains des mécanismes présentés ci-dessus sont considérés lors de l'analyse empirique du lien entre TI et taille des firmes exposée plus loin dans ce chapitre.

Holmstrom (1999) critique le fait d'assimiler la firme à la centralisation des actifs physiques. Selon lui, le modèle de Hart et Moore (1990) donne une représentation satisfaisante de la possession des actifs par les agents mais il ne justifie pas l'existence des firmes. Le choix entre internalisation et externalisation concerne les activités prises en charge par la firme ou par le marché et non pas la répartition des actifs physiques entre les agents. Holmstrom et Milgrom (1991, 1994) proposent une analyse plus complexe du choix des frontières en considérant que les agents accomplissent des tâches diverses. La firme est supérieure au marché pour obtenir une allocation optimale de l'effort des agents entre les tâches.

Baker et Hubbard (2003) envisagent une autre représentation de l'influence des TI sur les frontières de la firme s'inspirant à la fois des modèles de Grossman et Hart (1986) et de Holmstrom et Milgrom (1991, 1994). Leur théorie des contrats incomplets traite à la fois de la répartition de l'effort des agents entre les tâches et de l'allocation optimale des actifs physiques.

2) La prise en compte de la répartition de l'effort des agents entre les tâches et de l'allocation optimale des actifs physiques dans la théorie des contrats incomplets

Chez Grossman et Hart (1986), les frontières de la firme sont déterminées par l'allocation optimale des droits résiduels de contrôle associés aux actifs physiques. Le marché est doté d'une capacité de contrôle de l'action des agents supérieure à celle de la firme car il procure aux agents les incitations adéquates pour l'utilisation optimale des actifs. A la suite de ces auteurs, Baker et Hubbard (2003) considèrent que la capacité du marché est supérieure à celle de la firme pour allouer de manière optimale des actifs physiques. Néanmoins, des facteurs autres que la répartition des actifs physiques ont une influence sur les frontières de la firme.

Selon Holmstrom et Milgrom (1991, 1994), la firme est préférable au marché pour obtenir de chaque agent un niveau d'effort optimal pour les différentes tâches qu'il doit effectuer. Holmstrom (1999) montre que l'appropriation des actifs par une firme permet une utilisation des incitations plus adaptée par rapport à la situation où le marché détient les actifs. Ceci favorise la mise en place d'activités comportant de nombreuses tâches à l'intérieur des firmes.

Baker et Hubbard (2003) s'inspirent de ces auteurs quand ils considèrent que le coût d'agence associé au contrôle de l'action des agents est moindre pour la firme quand ces agents accomplissent plusieurs tâches.

Baker et Hubbard (2003) en déduisent que l'effet des TI sur les frontières de la firme dépend de leur influence sur la capacité de contrôle de l'action des agents et sur la capacité d'allocation des actifs physiques. Quand les TI augmentent la capacité de contrôle de l'action des agents, l'avantage comparatif de la firme sur le marché est renforcé et les firmes deviennent plus intégrées. Au contraire, quand les TI renforcent la capacité d'allocation des actifs physiques, l'avantage comparatif du marché sur la firme est renforcé et ces dernières deviennent moins intégrées. Quand les TI affectent ces deux dimensions, les frontières de la firme évoluent en fonction de l'importance respective de chaque effet. Les TI ont donc des effets contradictoires sur les frontières de la firme.

Pour vérifier empiriquement ces prédictions, il convient de distinguer les technologies qui améliorent le contrôle de l'action des agents et celles qui améliorent l'allocation des ressources. Hubbard (2000) étudie le secteur du transport routier aux Etats-Unis où deux sortes de technologies sont intégrés dans les camions à la fin des années 1980. Les enregistreurs offrent une information détaillée sur le comportement des conducteurs une fois ceux-ci revenus à leur point de départ. Les systèmes de gestion électronique des véhicules (SGEV par la suite) donnent une information similaire à celle des enregistreurs mais possèdent d'autres caractéristiques qui permettent de localiser instantanément les camions et de transmettre cette information en temps réel. De plus, les SGEV permettent de communiquer de nouvelles instructions aux conducteurs en cours de trajet.

Baker et Hubbard (2003) estiment que les enregistreurs améliorent le contrôle des agents et facilitent l'obtention d'une allocation optimale de l'effort de chaque agent entre les tâches. Les SGEV ont un effet semblable sur l'effort des agents. Ces systèmes améliorent aussi l'appariement à court terme des camions aux trajets en fournissant l'information pertinente en temps réel et en offrant la possibilité de modifier le plan de route des conducteurs en cours de trajet. Quelles sont les conséquences de l'adoption de chacune de ces technologies sur l'évolution des frontières des firmes appartenant au secteur du camionnage ?

Pour répondre à cette question, il est nécessaire de distinguer la firme du marché dans le secteur du camionnage et de déterminer les facteurs influençant le choix de l'une ou de l'autre. Une entreprise souhaitant expédier des marchandises vers un point de vente peut utiliser ses propres camions. Cette solution est préférable quand les conducteurs effectuent plusieurs tâches, par exemple en participant au déchargement du camion. L'entreprise peut

aussi faire appel à une entreprise spécialisée dans le transport des marchandises, voire à des camionneurs indépendants, c'est-à-dire recourir au marché. Cette solution est préférable lorsque les conducteurs se limitent au transport des marchandises. Le recours au marché est également plus avantageux pour allouer de manière optimale les camions aux trajets.

Baker et Hubbard (2003) présentent trois propositions relatives à l'effet de l'adoption des TI sur les frontières de la firme. Premièrement, l'adoption des enregistreurs renforce l'intégration des firmes car les expéditeurs peuvent mieux contrôler l'allocation de l'effort des agents entre les tâches. Deuxièmement, l'adoption des SGEV améliore la capacité de contrôle de l'action des agents et la capacité d'allocation des ressources. Ceci favorise respectivement l'intégration et l'externalisation des activités de transport. Néanmoins, l'intégration des firmes est moins marquée en comparaison de la situation où seuls les enregistreurs sont utilisés. Troisièmement, plus les activités de service sont productives, plus l'adoption des enregistreurs renforce l'intégration des firmes. Quand ces activités ne sont pas productives, l'adoption des enregistreurs ne modifie pas les frontières de la firme.

Baker et Hubbard (2003) procèdent ensuite à une vérification empirique de ces trois propositions.

B- Une application empirique de la théorie des contrats incomplets : l'influence des TI sur les frontières des firmes dans le secteur du camionnage aux Etats-Unis

Les données utilisées par Baker et Hubbard (2003) sont issues d'enquêtes effectuées dans le secteur du camionnage en 1987, 1992 et 1997. Ces enquêtes décrivent les technologies installées dans les camions et donnent le pourcentage des activités de transport pris en charge par les expéditeurs. Celui-ci a connu un pic en 1992 à 54,6%, alors qu'il était de 50% en 1987 et de 51,7% en 1997. Dans le même temps, alors qu'un pourcentage négligeable de camions était équipé d'enregistreurs ou de SGEV en 1987, 19% des camions étaient équipés de l'une de ces deux technologies en 1992 et 34% l'étaient en 1997. L'évolution des frontières de la firme a-t-elle un lien avec la diffusion des TI installées dans les camions depuis 1987 ?

L'analyse de la diffusion des enregistreurs et des SGEV entre 1987 et 1997 suggère l'existence d'une corrélation entre l'adoption des TI et l'évolution des frontières de la firme. L'augmentation de la part du transport effectué par les expéditeurs entre 1987 et 1992 correspond à une phase d'adoption massive des enregistreurs. La diminution de la part du transport effectué par les expéditeurs entre 1992 et 1997 correspond à une phase d'adoption massive des SGEV. Dans un premier temps, les auteurs considèrent l'effet du taux d'adoption des enregistreurs et des SGEV sur le pourcentage de transport spécialisé. Dans un second

temps, ils considèrent l'effet des technologies adoptées et du type de biens transportés sur le pourcentage de transport spécialisé.

1) *L'effet du taux d'adoption des enregistreurs et des systèmes de gestion électronique des véhicules sur le pourcentage de transport spécialisé*

Le modèle de Baker et Hubbard (2003) utilise des données relatives à des cohortes définies par l'état où les camions sont localisés, par le produit transporté, par le type de camion utilisé et par la distance parcourue. La spécification de base du modèle prend la forme suivante :

$y_{it} = x_{it} \cdot \beta + \phi_i + \varepsilon_{it}$, où y_{it} représente le pourcentage du transport effectué par des entreprises spécialisées pour la cohorte i et l'année t , où x_{it} représente un vecteur de variables explicatives, où ϕ_i représente des facteurs inobservés et invariants dans le temps et où ε_{it} représente des facteurs inobservés et variant dans le temps. Baker et Hubbard (2003) retiennent dans les variables explicatives le pourcentage de camions où sont installés les enregistreurs ou les SGEV et le pourcentage de camions où sont installés uniquement les SGEV. Le modèle inclut diverses variables de contrôle telles que le type de remorque, le type de chargement et la densité du marché local pour un type particulier de remorque.

Baker et Hubbard (2003) considèrent également la spécification en différences premières :

$y_{it} - y_{i(t-1)} = (x_{it} - x_{i(t-1)}) \cdot \beta + \eta_{it}$, où $\eta_{it} = \varepsilon_{it} - \varepsilon_{i(t-1)}$. Elle permet d'éliminer les facteurs inobservés et invariants dans le temps affectant simultanément l'adoption des TI et les frontières de la firme. Les résultats des régressions associées à ces deux spécifications sont présentés dans le tableau 5.1 ci-dessous, où les chiffres entre parenthèses représentent l'écart type associé à chaque coefficient.

Pourcentage de transport spécialisé	Enregistreurs ou SGEV	Gestion électronique
Estimations en niveau	- 0,144 (0,021)	0,239 (0,024)
Estimations en différences premières	- 0,090 (0,024)	0,149 (0,028)

Tableau 5.1 : Régressions en niveau et en différences premières utilisant les données de cohortes en 1987, 1992 et 1997

Pour chaque spécification, le coefficient associé à l'adoption de l'une des deux technologies montre l'effet de l'amélioration du contrôle de l'action des agents sur les frontières de la firme. Le coefficient associé à l'adoption des SGEV montre l'effet de l'amélioration de l'allocation des ressources sur les frontières de la firme. Les coefficients associés à l'adoption

de l'une des deux technologies sont négatifs et significatifs, alors que les coefficients associés à l'adoption des SGEV sont positifs et significatifs.

D'après les estimations en différences premières, quand le taux d'adoption des enregistreurs augmente de 1 point de pourcentage, la part du transport pris en charge par les expéditeurs augmente de 0,1 point de pourcentage. Au contraire, quand le taux d'adoption des SGEV augmente de 1 point de pourcentage, la part du transport spécialisé augmente de 0,15 points de pourcentage. En supposant que ces estimations sont le reflet de relations causales, elles indiquent que l'amélioration du contrôle des agents favorise l'internalisation des activités de transport alors que l'amélioration de l'allocation des actifs favorise le transport spécialisé.

Ces estimations sont conformes aux propositions exposées auparavant. Selon la première proposition, l'adoption des enregistreurs implique une intégration plus marquée des firmes. Celle-ci est représentée par une diminution du pourcentage du transport spécialisé. Selon la deuxième proposition, l'adoption des SGEV implique une intégration des firmes moins marquée que dans le cas de l'adoption des enregistreurs. Mais la gestion électronique peut aussi favoriser le transport spécialisé quand l'effet de l'amélioration de l'allocation des ressources l'emporte sur l'effet de l'amélioration du contrôle de l'action des agents. Ce phénomène est bien représenté par le coefficient positif associé aux SGEV.

Baker et Hubbard (2003) s'efforcent de valider leur troisième proposition en étudiant l'effet des technologies adoptées et du type de biens transportés sur le pourcentage de transport spécialisé.

2) L'effet des technologies adoptées et du type de biens transportés sur le pourcentage de transport spécialisé

D'après la proposition 3, les enregistreurs renforcent l'intégration des firmes quand les conducteurs effectuent des activités de service, mais ils ne modifient pas les frontières des firmes quand ces activités de service ne sont pas productives. Les coefficients associés à l'adoption de l'une des deux technologies doivent donc être négatifs pour les trajets où les conducteurs participent au déchargement de la cargaison. Les activités de service des conducteurs sont très productives quand les camions transportent des produits conditionnés prêts à être emportés ou des produits pétrochimiques nécessitant une qualification spécifique des conducteurs. Les coefficients associés à l'adoption des enregistreurs ou des SGEV doivent être négatifs et plus élevés pour ces deux catégories de produits que pour les autres.

Le tableau 5.2 donne les résultats des estimations en différences premières expliquant l'évolution du pourcentage de transport spécialisé en fonction de diverses combinaisons de

biens transportés et de technologies utilisées. Les coefficients statistiquement significatifs sont en gras. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux écarts types des coefficients.

Pourcentage de transport spécialisé	1987, 1992, 1997	1987-1992	1992-1997
Enregistreurs ou SGEV	- 0,010 (0,036)	0,033 (0,046)	0,009 (0,034)
SGEV	- 0,066 (0,040)	- 0,002 (0,057)	0,088 (0,039)
Enregistreurs ou SGEV et produits conditionnés	- 0,141 (0,054)	- 0,131 (0,069)	- 0,241 (0,060)
SGEV et produits conditionnés	0,142 (0,062)	0,065 (0,094)	0,164 (0,064)
Enregistreurs ou SGEV et pétrochimie	- 0,111 (0,074)	- 0,091 (0,101)	- 0,184 (0,076)
SGEV et pétrochimie	0,156 (0,092)	0,021 (0,171)	0,166 (0,089)
Nombre de cohortes	2773	3908	4101

Tableau 5.2 : Adoption des technologies et mode de transport choisi en cas d'interactions avec le type de produits transportés

Le coefficient associé à l'adoption de l'une des deux technologies pour les années 1987, 1992, 1997 n'est pas statistiquement significatif. Au contraire, le coefficient associé à l'interaction entre l'adoption de l'une des technologies et les produits conditionnés est négatif et significatif, conformément aux prédictions de la proposition 3. Ces résultats se retrouvent dans les deux autres colonnes du tableau. Par conséquent, l'utilisation des TI modifie les frontières de la firme quand les conducteurs effectuent des activités de service. Le fait de réduire le coût d'agence associé au contrôle de l'action des agents renforce l'intégration des firmes. L'utilisation des TI n'affecte pas les frontières quand les conducteurs transportent des matières premières ou des biens volumineux sans effectuer des activités de services.

Enfin, selon Baker et Hubbard (2003), des variables inobservées peuvent affecter à la fois les technologies et les frontières de la firme. Pour déterminer s'il existe une relation causale entre l'adoption des technologies et l'évolution des frontières, ces auteurs intègrent des variables instrumentales dans leurs estimations. D'après eux, des variables telles que la part du kilométrage des camions en dehors de leur état d'origine ou telles que le nombre de semaines où les camions circulent dans leur état d'origine ont une influence sur l'adoption des TI sans être liées à l'évolution des frontières. Les résultats obtenus sont semblables aux précédents et

sont conformes aux trois propositions empiriques. Baker et Hubbard (2003) en concluent que ces estimations reflètent des relations causales.

La question de l'influence des TI sur les frontières de la firme a donc suscité d'importants développements théoriques dans le domaine de la théorie des contrats incomplets. Brynjolfsson (1994), puis Baker et Hubbard (2003) ont mis en évidence les effets contradictoires des TI sur les frontières de la firme, mais seul ce dernier modèle a été testé empiriquement. L'étude du secteur du camionnage américain a permis de montrer que l'adoption des enregistreurs renforce l'intégration des firmes alors que l'utilisation des SGEV fait augmenter le pourcentage de transport spécialisé. Elle met également en évidence le renforcement de l'intégration des firmes quand les activités de service sont productives.

Baker et Hubbard (2004) approfondissent l'étude des conséquences de l'informatique embarquée en considérant la manière dont sont organisés les transporteurs spécialisés. Selon ces auteurs, l'appropriation des camions par des conducteurs indépendants diminue avec l'adoption des enregistreurs ou des SGEV. L'amélioration de la capacité de contrôle de l'action des agents fait diminuer le nombre des conducteurs indépendants et conduit à des firmes de plus grande taille. L'externalisation des activités de transport qui contribue à réduire la taille des expéditeurs se traduit par une augmentation de la taille moyenne des entreprises dans le secteur du transport.

L'étude de l'évolution de la taille moyenne des firmes dans un secteur en conjonction avec l'adoption des TI devient alors naturelle. Déterminer si les TI contribuent à réduire la taille moyenne des firmes donne un caractère plus général à l'analyse et permet d'intégrer certains effets des TI envisagés lors de l'analyse de l'évolution des frontières de la firme.

II) Les TI contribuent-elles à réduire la taille moyenne des firmes ?

L'analyse de l'effet des TI sur la taille moyenne des firmes dans un secteur considère plusieurs sortes de mécanismes explicatifs. Une première sorte de mécanismes relève de l'évolution des frontières de la firme. Par exemple, les TI peuvent rendre les actifs physiques plus flexibles et réduire la taille moyenne des firmes ou bien faire diminuer les coûts de coordination interne et faire augmenter cette taille moyenne. Une deuxième sorte de mécanismes agit indépendamment de l'évolution des frontières de la firme. Par exemple, les TI peuvent améliorer la productivité des actifs physiques et réduire la taille moyenne des firmes. Elles peuvent aussi faire augmenter cette taille moyenne en développant l'emploi des « cols blancs » (Osterman 1986).

Il n'est donc pas possible de prédire l'évolution de la taille moyenne des firmes présentes dans un secteur quand les dépenses consacrées aux TI augmentent. Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) mettent en évidence une diminution de la taille moyenne des firmes aux Etats-Unis entre 1976 et 1989. Leur objectif est de déterminer si les TI ont un rôle dans cette évolution et de préciser si ce phénomène s'explique par l'externalisation de certaines activités ou par la substitution entre le capital et le travail. Nous verrons dans un premier temps quel est le mécanisme pertinent pour expliquer cette diminution de la taille moyenne dans six secteurs représentatifs de l'industrie et des services.

Wenger (1999) prolonge cette démarche en observant que la taille moyenne des firmes aux Etats-Unis diminue dans l'industrie et augmente dans les services entre 1972 et 1992. Son but est de montrer que les TI s'appliquent à différents secteurs de l'économie et ont une influence sur l'évolution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie et dans les services. Nous verrons dans un deuxième temps que cet auteur tient compte de nouveaux mécanismes pour expliquer l'augmentation de la taille moyenne des firmes dans les services et sa diminution dans l'industrie.

A- A la recherche du mécanisme pertinent pour expliquer la diminution de la taille moyenne des firmes dans six secteurs représentatifs de l'industrie et des services

Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) ont utilisé des techniques économétriques pour montrer le lien existant entre les dépenses consacrées aux TI et la réduction de la taille moyenne des firmes. Entre 1976 et 1989, le nombre moyen d'employés par firme ou par établissement a diminué de façon substantielle alors qu'il avait fortement augmenté jusqu'au début des années 1970. Dans le même temps, compte tenu de l'amélioration de la qualité associée à l'augmentation de la puissance de calcul de 20% par an, l'investissement dans les TI a été multiplié par dix entre 1971 et 1990.

Deux explications à cette réduction de la taille moyenne des firmes sont envisagées en liaison avec l'investissement croissant dans les TI. La première explication est associée au choix des frontières de la firme. Les TI font diminuer fortement les coûts de coordination externe, ce qui atténue l'intégration et réduit la taille moyenne des firmes. La deuxième explication, indépendante du choix des frontières de la firme, est l'existence d'une substitution entre les TI et le facteur travail. Nous verrons dans un premier temps que les auteurs retiennent quatre définitions différentes de la taille moyenne des firmes pour déterminer quel est le mécanisme explicatif pertinent. Nous verrons dans un deuxième temps que la diminution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie ne résulte pas du seul phénomène de substitution.

1) *Une modélisation retenant quatre définitions différentes de la taille moyenne des firmes*

Les données utilisées concernent les entreprises de six secteurs représentant l'ensemble des industries et des services aux Etats-Unis entre 1976 et 1989. L'industrie se compose de deux secteurs : production de biens d'équipement et de biens de consommation. Les services se composent de quatre secteurs : transports et services publics, commerce, finance et assurance, services proprement dits. Afin de déterminer quel est le mécanisme pertinent pour rendre compte de l'influence des TI sur la diminution de la taille moyenne des firmes, Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) retiennent quatre définitions différentes de la taille moyenne. Sont ainsi considérés le nombre moyen d'employés par établissement, le nombre moyen d'employés par firme, le salaire moyen et la valeur ajoutée moyenne par firme.

Le mécanisme de substitution joue quand le nombre moyen d'employés par firme ou par établissement décroît, alors que le salaire moyen et la valeur ajoutée moyenne par firme restent stables. Dans ce cas, le nombre d'employés diminue alors que le nombre de firmes ou d'établissements reste stable. Le mécanisme d'externalisation joue quand les quatre mesures de la taille moyenne diminuent simultanément. Le salaire moyen et la valeur ajoutée moyenne par firme diminuent car le nombre de firmes augmente. Les données relatives aux deux dernières définitions de la taille sont seulement disponibles pour deux secteurs regroupant 20 catégories d'industries. Elles n'existent pas pour les quatre secteurs regroupant les activités de service. Il n'est donc pas possible de savoir si les phénomènes d'externalisation affectent ces secteurs.

Les auteurs considèrent un autre facteur explicatif de l'évolution de la taille moyenne des firmes dans les six secteurs représentatifs de l'industrie et des services : le commerce extérieur. Une concurrence internationale accrue fait diminuer la taille moyenne des firmes en raison des licenciements, mais le commerce extérieur peut conduire à l'augmentation de la taille moyenne en offrant aux firmes de nouvelles perspectives de débouchés. La présence de ce deuxième facteur explicatif empêche d'anticiper le signe du coefficient associé aux TI. Il est possible que le commerce extérieur engendre une baisse de la taille moyenne des firmes alors que les TI contribuent à faire augmenter cette taille moyenne.

En cas de réduction des coûts de coordination externe, le coefficient est négatif pour toutes les mesures de la taille. En cas de réduction des coûts de coordination interne, le coefficient est positif pour toutes les mesures de la taille. En présence d'une substitution entre capital et travail, le coefficient est négatif pour les deux premières mesures de la taille et nul pour les

deux dernières. En présence d'une complémentarité entre capital et travail, le coefficient est positif pour les deux premières mesures de la taille et nul pour les deux dernières.

Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) retiennent une définition étroite des TI en les assimilant à une catégorie d'actif bien précise : les machines de bureau. Cette catégorie ne considère que les dépenses d'équipement et ne tient pas compte des investissements consacrés au développement des logiciels ni des dépenses de maintenance. De plus, les données ne prennent pas en compte les TI incorporées dans les machines. La variable commerce extérieur correspond à la somme annuelle des importations et des exportations.

La régression ci-dessous montre la relation entre l'investissement dans les TI et la taille moyenne des firmes pour un secteur et une année donnés durant la période 1976-1989. Elle contrôle l'effet de l'investissement total hors TI, du commerce extérieur, du taux d'intérêt et du secteur d'appartenance.

$$\begin{aligned} TAILLE_t = & \beta_0 + w_0 \cdot TI_t + w_1 \cdot TI_{t-1} + w_2 \cdot TI_{t-2} + w_3 \cdot TI_{t-3} + w_4 \cdot TI_{t-4} \\ & + v_0 \cdot TOT_t + v_1 \cdot TOT_{t-1} + v_2 \cdot TOT_{t-2} + v_3 \cdot TOT_{t-3} + v_4 \cdot TOT_{t-4} \\ & + \beta_3 \cdot COM_t + \beta_4 \cdot INT_t + \sum_i \beta_{5i} \cdot SECT_{it} + \varepsilon_t \end{aligned}$$

où les coefficients de pondération w_i et v_i satisfont :

$$w_i = c_0 + c_1 \cdot i + c_2 \cdot i^2, \quad v_i = d_0 + d_1 \cdot i + d_2 \cdot i^2, \quad i = 0, \dots, 4.$$

$TAILLE_t$ représente le logarithme népérien de la taille des firmes durant l'année t .

TI_t représente le logarithme népérien de l'investissement dans les TI compte tenu de l'effet qualité durant l'année t .

TOT_t représente le logarithme népérien de l'investissement hors TI durant l'année t .

COM_t représente le logarithme népérien du commerce extérieur durant l'année t .

INT_t représente le logarithme népérien du taux d'intérêt durant l'année t .

$SECT_{it}$ représente une variable dummy indiquant le secteur d'appartenance de la firme (pour les deux premières mesures de la taille) ou l'industrie d'appartenance de la firme (pour les deux autres mesures de la taille) durant l'année t .

ε_t représente un terme d'erreur.

Les estimations mélangent les séries temporelles et les observations en coupe faites pour les différents secteurs afin d'obtenir une taille adéquate de l'échantillon. En effet, il n'existe que six observations de la taille moyenne pour chaque année considérée durant la période 1976-1989, soit au total 84 observations. Il peut exister des phénomènes d'hétéroscédasticité entre les secteurs et de corrélation entre années successives des séries temporelles.

Des variables explicatives telles que l'investissement dans les TI peuvent être déterminées conjointement avec la taille des firmes. Ceci fausse les estimations données par le modèle des moindres carrés ordinaires. Ce problème de simultanéité est corrigé à l'aide de la technique des doubles moindres carrés. Les variables instrumentales retenues sont les valeurs décalées de TI, de TOT et de l'indice des prix associé aux investissements dans les TI. Viennent s'y ajouter COM_t , INT_t , les variables indicatrices sectorielles et la constante.

L'interprétation du signe et des coefficients des estimations des doubles moindres carrés est semblable à celle des moindres carrés ordinaires. Le coefficient associé aux TI représente le pourcentage de changement dans la taille moyenne des firmes associé à un changement de 1% dans le capital en TI. Les données relatives à l'investissement dans les TI et hors TI concernent non seulement l'année t , mais aussi les quatre années précédentes. Le but est de déterminer comment l'effet des TI sur la taille moyenne des firmes évolue dans le temps. En raison des phénomènes d'apprentissage de la technologie, l'effet des TI est supposé être plus marqué pour les années $t - 1$ et $t - 2$, puis devenir proche de 0 en $t - 4$.

L'interprétation des coefficients demande de la prudence car la spécification du modèle rend uniforme l'effet des variables explicatives suivant les intervalles de temps et les secteurs. Par exemple, un coefficient nul peut résulter d'un effet positif pour un secteur compensé par un effet négatif dans un autre secteur. De même, une relation positive pour un intervalle de temps peut être compensée par une relation négative pour un autre intervalle de temps. Les estimations données par le modèle doivent être interprétées comme des moyennes pondérées. Les auteurs supposent que le coefficient associé au PNB est positif car la croissance du PNB offre des opportunités d'exploitation des économies d'échelle. Le coefficient associé à TOT est supposé être positif car les entreprises de grande taille sont celles qui investissent le plus dans le capital fixe. Le coefficient associé à INT est supposé être négatif car l'augmentation du coût du capital est corrélée négativement à la croissance de la firme. Les variables indicatrices sectorielles contrôlent les variations de la taille des firmes entre les secteurs : les firmes industrielles sont plus grandes que les firmes du secteur des services.

Les résultats ci-dessous montrent que les TI réduisent la taille moyenne des firmes et que ceci ne résulte pas du seul phénomène de substitution dans le cas des firmes industrielles.

2) La diminution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie ne résulte pas du seul phénomène de substitution

Les résultats du tableau 5.3 vont dans le sens attendu pour les variables de contrôle : les coefficients associés au PNB et aux investissements hors TI sont positifs et significatifs. Le

commerce extérieur fait augmenter le nombre moyen d'employés par établissement de 0,32%. La concurrence étrangère ne fait donc pas diminuer la taille moyenne des firmes. L'effet des TI joue en sens inverse : augmenter l'investissement dans les TI de 1% pendant 5 ans fait diminuer de 0,13% le nombre moyen d'employés par établissement. L'effet est plus fort pour les investissements effectués en $t - 1$ ou en $t - 2$ (coefficients de - 0,032 et de - 0,031). Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) en concluent que les TI contribuent à la diminution de la taille moyenne des firmes entre 1976 et 1989.

Augmenter l'investissement dans les TI de 1% pendant 5 ans fait diminuer le nombre moyen d'employés par firme de 0,14%, fait diminuer le salaire moyen par firme de 0,13% et fait diminuer la valeur ajoutée moyenne par firme de 0,12%. Dans le même temps, le commerce extérieur fait augmenter la taille moyenne des firmes respectivement de 0,28%, de 0,55% et de 0,68%. La réduction du salaire moyen ou la valeur ajoutée moyenne par firme s'explique par la diminution de l'intégration verticale dans les deux secteurs représentatifs de l'industrie à la suite d'une baisse des coûts de coordination externe. Ce résultat peut seulement être établi pour les firmes industrielles, faute de données disponibles quant au salaire moyen ou à la valeur ajoutée moyenne par firme dans les autres secteurs.

variables	Nombre moyen d'employés par établissement	Nombre moyen d'employés par firme	Salaire moyen par firme	Valeur ajoutée moyenne par firme
constante	- 3,806***	- 2,911**	- 4,225***	- 4,728***
TI (0)	- 0,02803	- 0,1375*	- 0,01185	- 0,01611
TI (-1)	- 0,03217***	- 0,05542***	- 0,04352***	- 0,03780***
TI (-2)	- 0,03144***	- 0,00063	- 0,05094***	- 0,04125**
TI (-3)	- 0,02583**	0,02687	- 0,03409***	- 0,02646**
TI (-4)	- 0,01535	0,02708	0,0070	0,00657
Somme des investissements en TI	- 0,1328***	- 0,1395***	- 0,1334***	- 0,1150***
TOT (0)	0,1522***	0,2194*	0,05650*	0,02419
TOT (-1)	0,09994***	0,07407*	0,06273***	0,03339**
TOT (-2)	0,05854***	- 0,02057	0,06131***	0,03473*
TOT (-3)	0,02809	- 0,06446	0,05224***	0,02820*
TOT (-4)	0,00857	- 0,05760	0,03553	0,01380
Somme des investissements hors TI	0,3474***	0,1509	0,2683***	0,1343**
PNB	0,2418*	0,2749	0,1492***	0,009204
Taux d'intérêt	- 0,0002447	0,003698	-0,009570***	-0,01318***
Commerce extérieur	0,3211***	0,2826**	0,5544***	0,6775***
Production de biens d'équip.	0,7530***	0,4523***		
Production de biens de conso.	0,7259***	0,3915***		
Transports et services publics	0,1952***	0,8495		
Commerce	- 0,04841**	0,4001***		
Finance et assurance	- 0,07374***	- 0,2277***		
R ²	0,9910	0,9608	0,9956	0,9874
Durbin Watson	2,0360	1,868	1,464	1,342
F	655,6	145,0	2040	706,0
Nombre d'observations	84	84	280	280

Tableau 5.3 : Résultats des estimations de l'effet des TI, du commerce extérieur et des variables de contrôle pour les quatre définitions de la taille des firmes.

* : coefficient significatif au seuil de 10%

** : coefficient significatif au seuil de 5%

*** : coefficient significatif au seuil de 1%

Enfin, Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) regroupent des secteurs pour comparer la situation de l'industrie à celle des services. L'industrie se compose de deux secteurs (production de biens d'équipement et de consommation) et les services de quatre secteurs (transports et services publics, commerce, finance et assurance, services proprement dits). Les régressions ne portent que sur les deux premières variables de taille et leurs résultats figurent dans le tableau 5.4 ci-dessous :

Variables	Nombre moyen d'employés par établissement (industrie)	Nombre moyen d'employés par établissement (service)	Nombre moyen d'employés par firme (industrie)	Nombre moyen d'employés par firme (service)
Constante	- 0,4570	- 3,949***	2,576*	- 7,258**
Somme des investissements en TI	- 0,1713***	- 0,09137***	- 0,1476***	- 0,1327**
Somme des investissements hors TI	- 0,1489	0,1160	- 0,1698	- 0,3798**
PNB	0,08427	0,3930*	0,03315	1,230**
Taux d'intérêt	0,007045	- 0,001389	- 0,000003392	0,003728
Commerce extérieur	0,4897***	0,3543***	0,001297	0,4083**
R ²	0,9979	0,9864	0,9946	0,9674
Durbin Watson	2,712	2,46	2,364	2,726
F	1138	328,4	438,6	133,6
Nombre d'observations	28	56	28	56

Tableau 5.4 : Résultats des estimations de l'effet des TI, du commerce extérieur, et des variables de contrôle dans l'industrie et les services pour deux définitions de la taille des firmes

* : coefficient significatif au seuil de 10%

** : coefficient significatif au seuil de 5%

*** : coefficient significatif au seuil de 1%

Dans l'industrie et dans les services, l'investissement dans les TI durant cinq années consécutives est associé à une diminution du nombre moyen d'employés par établissement et par firme (coefficients de 0,17 et de 0,15 pour l'industrie, coefficients de 0,09 et de 0,13 pour les services). Dans les deux secteurs, le commerce extérieur fait augmenter la taille moyenne des firmes. Les coefficients sont légèrement inférieurs dans les régressions concernant l'industrie, mais selon le test de Chow, cette différence n'est pas statistiquement significative. Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) en déduisent que la relation négative entre les TI et la taille n'est pas limitée à un secteur bien précis.

L'étude de Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) est la première à confirmer empiriquement l'existence d'un lien entre l'investissement dans les TI et la réduction de la taille des firmes, quelle que soit la définition retenue pour cette dernière. La substitution entre les TI et le facteur travail ne peut expliquer ce phénomène à elle seule : l'externalisation de certaines activités joue également un rôle important. Elle fait augmenter le nombre des firmes ce qui réduit le salaire moyen et la valeur ajoutée moyenne par firme. Ces deux dernières mesures de la taille ne sont pas disponibles pour les quatre secteurs représentant les services, ce qui réduit la portée des résultats obtenus.

Wenger (1999) prolonge cette démarche empirique en considérant séparément l'évolution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie et dans les services. En utilisant des données plus récentes que celles de ses prédécesseurs, Wenger (1999) montre que la taille moyenne des firmes augmente dans les services alors qu'elle diminue dans l'industrie. La prise en compte de nouveaux mécanismes est nécessaire pour expliquer la contribution des TI à ces tendances sectorielles contradictoires.

B- La prise en compte de nouveaux mécanismes pour expliquer la diminution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie et son augmentation dans les services

L'étude empirique de Wenger (1999) prolonge l'analyse économétrique du lien entre TI et taille moyenne des firmes initiée par Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) en utilisant des données quelque peu différentes. Celles-ci concernent les années 1972, 1977, 1982, 1987 et 1992 et non plus la période 1976-1989. La définition de la taille moyenne des firmes est plus étroite chez Wenger (1999) qui la mesure à l'aide du nombre moyen d'employés ou d'établissements par firme et non pas avec le salaire moyen ou la valeur ajoutée moyenne par entreprise. Enfin, les variables explicatives ne sont pas identiques : contrairement à ses prédécesseurs, Wenger (1999) prend en compte le niveau d'éducation dans ses régressions.

De plus, Wenger (1999) applique des modèles différents à l'industrie, au commerce et aux services car les tendances dans l'évolution de la taille moyenne des firmes diffèrent suivant leur secteur d'appartenance. Alors que le nombre moyen d'employés par firme est fortement décroissant dans l'industrie, il est légèrement croissant dans le commerce et les services. Nous verrons dans un premier temps que sa modélisation tient compte de l'importance respective des actifs physiques, informationnels et humains dans l'industrie, le commerce et les services. Nous verrons dans un deuxième temps que les TI contribuent indirectement à l'évolution de la taille moyenne des firmes dans chaque secteur en affectant les actifs physiques et humains.

1) *Une modélisation intégrant l'importance respective des actifs physiques, informationnels et humains dans l'industrie, le commerce et les services*

Wenger (1999) retient de nouveaux facteurs explicatifs de l'évolution de la taille moyenne des firmes en intégrant dans les estimations les actifs physiques, informationnels et humains. L'actif informationnel est représenté par le pourcentage des dépenses en machines de bureau et en équipements de communication dans l'équipement total et non plus par le niveau de l'investissement total dans les seules machines de bureau. L'actif physique est représenté par la valeur de l'équipement rapportée au salaire. L'actif humain est représenté par le pourcentage des diplômés de l'enseignement secondaire.

De plus, Wenger (1999) estime que ces actifs n'ont pas le même effet sur la taille moyenne des firmes suivant le secteur considéré. Il suppose que les actifs physiques ont une influence plus forte dans l'industrie et que les actifs informationnels ont une influence plus forte dans les services ou le commerce de détail. Enfin, les actifs humains ont un effet comparable quel que soit le secteur. Wenger (1999) ajoute de nouveaux mécanismes aux phénomènes de substitution et d'externalisation étudiés par ses prédécesseurs. Ces mécanismes tiennent compte de l'effet des TI sur les actifs physiques, informationnels et humains. Les TI peuvent influencer la taille moyenne des firmes grâce aux cinq mécanismes suivants.

Premièrement, les TI peuvent modifier le nombre d'employés nécessaire pour obtenir un certain résultat avec un ensemble donné d'actifs physiques ou informationnels. Ainsi, les TI augmentent la productivité des actifs physiques qui sont prépondérants dans l'industrie. Ces actifs se substituent au travail peu qualifié et ainsi les TI réduisent la taille moyenne des firmes. Au contraire, les études empiriques menées par Autor, Katz et Krueger (1998) montrent l'existence d'une complémentarité entre les TI et l'emploi des « cols blancs ». Wenger (1999) suppose que la taille moyenne augmente dans les services ou le commerce en raison de la prépondérance des actifs informationnels.

Deuxièmement, les TI peuvent contribuer à améliorer le capital humain des employés et modifier la nature des emplois. Ces employés sont susceptibles de devenir des travailleurs indépendants, à l'instar des informaticiens hautement qualifiés qui remplissent des fonctions de consultants auprès de plusieurs firmes. Ce phénomène réduit la taille moyenne des firmes car il fait augmenter le nombre de firmes de conseil recourant à des actifs humains hautement qualifiés. Il touche autant l'industrie que les services ou le commerce.

Troisièmement, les TI peuvent contribuer à la diffusion des actifs physiques au sein des firmes ou bien rendre ces actifs plus flexibles et moins spécifiques. L'appropriation des actifs par un offreur indépendant devient plus aisée, ce qui encourage les phénomènes d'externalisation. La firme utilisant les TI voit sa taille diminuer quand les employés faisant fonctionner l'actif changent également de firme. Ce phénomène concerne surtout l'industrie et peut être illustré par l'atténuation de l'intégration verticale dans l'industrie automobile.

Quatrièmement, les TI peuvent affecter la diffusion des actifs informationnels au sein des firmes en facilitant la collecte, la communication et le partage des données. Selon l'expression de Wilson (1975), il existe des économies d'échelle informationnelles quand la combinaison des bases de données de deux firmes permet d'augmenter le profit. L'augmentation de la valeur de l'actif informationnel est d'autant plus forte que l'investissement dans les TI est important. Quand le retour sur l'investissement ne peut être garanti par un contrat, l'exploitation des économies d'échelle informationnelles nécessite une opération de fusion des firmes disposées à investir. Les TI contribuent à l'augmentation de la taille moyenne des firmes dans les services ou le commerce où les actifs informationnels sont prépondérants.

Cinquièmement, les TI peuvent faciliter la coordination des activités entre les firmes. Ainsi, l'utilisation des échanges de données informatisés (EDI) permet de coordonner les activités entre un producteur et un client sans qu'une proximité géographique soit nécessaire. Selon Malone, Yates et Benjamin (1987), la diminution des coûts de coordination qui représentent la majorité du coût total des transactions marchandes réduit la taille des firmes. Ce phénomène touche autant l'industrie que les services ou le commerce.

Enfin, à la suite de ses prédécesseurs, Wenger (1999) intègre le commerce extérieur comme variable explicative dans les régressions relatives à l'industrie. Le commerce extérieur est représenté par les importations rapportées à la somme des importations et des exportations. La taille des firmes augmente-t-elle en raison de la libéralisation commerciale qui accroît la taille des marchés ou bien cette taille diminue-t-elle avec les restructurations engendrées par une concurrence exacerbée ? Wenger (1999) anticipe une baisse de la taille moyenne des firmes en raison de l'importance du déficit extérieur aux Etats-Unis.

Le tableau 5.5 ci-dessous récapitule pour chaque mécanisme les effets anticipés des TI sur la taille des firmes en distinguant la situation de l'industrie de celle du commerce et des services.

effet	Industrie	Commerce de détail, services
Complémentarité ou substitution	Substitution d'un actif physique plus productif au travail non qualifié : diminution de la taille	Complémentarité entre le travail qualifié et l'actif informationnel : augmentation de la taille
Capital humain	Les employés deviennent des consultants extérieurs : diminution de la taille	Les employés deviennent des consultants extérieurs : diminution de la taille
Capital physique	Flexibilité accrue des actifs physiques : diminution de la taille	Moins important
Capital informationnel	Moins important	Fusion des firmes pour exploiter les économies d'échelle informationnelles : augmentation de la taille
Coût de coordination	Acheter plutôt que produire : diminution de la taille	Acheter plutôt que produire : diminution de la taille
Commerce extérieur	Augmentation des importations : diminution de la taille	Pas pris en compte
Combiné	Diminution de la taille	indéterminé

Tableau 5.5 : Mécanismes par lesquels les TI affectent la taille des firmes dans l'industrie, le commerce et les services

Pour vérifier la pertinence de ces mécanismes, Wenger (1999) utilise une régression simple pour chacun des trois secteurs considérés. Son modèle est moins sophistiqué que celui de Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) car il n'intègre pas de décalages temporels et ne fait pas appel aux doubles moindres carrés. Pour résoudre les problèmes de simultanéité, l'auteur utilise une mesure relative pour les variables explicatives. Par exemple, au lieu de considérer le montant des dépenses en TI, Wenger (1999) considère la part de ces dépenses dans l'équipement total. Les résultats ci-dessous montrent que les TI contribuent indirectement à l'évolution de la taille moyenne des firmes en affectant les actifs physiques et humains.

2) Les TI contribuent indirectement à l'évolution de la taille moyenne des firmes dans chaque secteur en affectant les actifs physiques et humains

Dans les estimations qui suivent, le coefficient associé à l'actif physique est anticipé comme étant négatif dans l'industrie en raison des phénomènes de substitution, de flexibilité et de réduction des coûts de coordination. Ce coefficient est a priori plus élevé dans l'industrie que dans le commerce ou les services. Dans ce dernier cas, il est possible qu'il ne soit pas significatif. Le coefficient associé à l'actif informationnel est anticipé comme étant positif dans le commerce et les services en raison des phénomènes de complémentarité et de fusion. Ce coefficient est a priori plus élevé dans le commerce ou les services que dans l'industrie. Dans ce dernier cas, il est possible qu'il ne soit pas significatif. Le coefficient associé au capital humain est anticipé comme étant négatif dans chaque secteur.

Le tableau 5.6 ci-dessous donne les résultats de la régression relative à la taille moyenne des firmes dans l'industrie pour les années 1972, 1977, 1982, 1987 et 1992. *empfall* représente le nombre moyen d'employés par firme dans chacune des 19 catégories d'industries considérées, *itshr* représente la part des TI dans l'équipement total, *collshr* représente la part des employés diplômés du secondaire, *capsls* représente l'intensité du capital physique rapportée aux salaires, *impshr* représente la part des importations dans les échanges commerciaux.

```
. xl: regress empfall itshr collshr capsls impshr I.sic if (sic!=21), robust
I.sic               Isic_20-39   (naturally coded; Isic_20 omitted)

Regression with robust standard errors
```

	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
itshr	.0449995	.0224771	2.002	0.049	-.0001923 .0898067
collshr	-.1071784	.0427906	-2.505	0.015	-.1924799 -.021877
capsls	-.0293968	.0104338	-2.817	0.006	-.0501962 -.0085973
impshr	-.0879377	.0168812	-5.209	0.000	-.1215897 -.0542857

```
Number of obs =      95
F( 22,      72) = 200.35
Prob > F       = 0.0000
R-squared      = 0.9647
Root MSE     = .01113
```

Tableau 5.6 : Régression relative à la taille moyenne des firmes dans l'industrie

Tous les coefficients de la régression sont significatifs au seuil de 5%, y compris celui associé à *itshr*. Ce coefficient est positif, ce qui est conforme à l'hypothèse d'une augmentation de taille par fusion. Ce résultat s'oppose à celui obtenu par Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) où l'investissement croissant dans les TI est associé à des firmes de plus petite taille. Selon Wenger (1999), ces divergences s'expliquent plus par la présence du facteur capital humain que par les différences entre les modèles.

Pour le démontrer, il considère une régression plus proche de la spécification retenue par ses prédécesseurs où les équipements de communication sont retirés de la mesure des TI et où l'investissement total est mesuré de manière absolue. Le coefficient associé aux TI est bien négatif (- 0,0041722), mais le seul fait d'ajouter une variable reflétant le capital humain modifie le signe du coefficient associé aux TI (0,0015025). D'après Wenger (1999), le coefficient associé aux TI chez Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) capte l'effet associé à l'amélioration des actifs humains.

De plus, la régression confirme l'existence d'un effet négatif associé au capital physique et au capital humain qui est plus marqué que l'effet positif de l'actif informationnel. Les TI réduisent donc la taille moyenne des firmes en rendant les actifs physiques plus productifs et plus flexibles, mais également en diminuant les coûts de coordination externe. Le tableau 5.7 ci-dessous montre que la réduction de la taille moyenne des firmes ne résulte pas uniquement d'un phénomène de substitution.

Année	Nombre d'employés	Nombre de firmes	Nombre d'employés par firme
1967	18 092 000	274 156	65,99
1992	16 949 000	328 953	51,52

Tableau 5.7 : Evolution du nombre d'employés et du nombre de firmes entre 1967 et 1992 dans l'industrie

La diminution du nombre d'employés confirme l'existence d'une substitution entre capital physique et capital humain, mais l'augmentation du nombre de firmes confirme l'existence d'une plus grande flexibilité des actifs physiques et d'une réduction des coûts de coordination. Enfin, le coefficient associé à la variable commerce extérieur est négatif et significatif, alors que ce coefficient était positif et significatif dans l'étude de Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994). Selon les résultats de Wenger (1999), la libéralisation des échanges favorise les délocalisations vers les pays à bas salaires.

Le tableau 5.8 ci-dessous donne les résultats de la régression relative à la taille moyenne des firmes dans le commerce. Rappelons que *empfall* représente le nombre moyen d'employés par firme, *itshr* représente la part des TI dans l'équipement total, *collshr* représente la part des employés diplômés du secondaire, *capals* représente l'intensité du capital physique rapportée aux salaires. Le commerce extérieur n'est plus retenu comme variable explicative.

```
. xi: regress empfall itshr collshr capals I.retind if (retind!= .), robust
I.retind      Ireti_1-19  (naturally coded; Ireti_1 omitted)
```

Regression with robust standard errors

Number of obs =	85
F(19, 65) =	45.39
Prob > F	= 0.0000
R-squared	= 0.9068
Root MSE	= .00204

	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
empfall					
itshr	.0042486	.0010379	4.093	0.000	.0021757 .0063215
collshr	.0158042	.0077873	2.029	0.047	.0002519 .0313566
capals	-.1435823	.6758667	-0.212	0.832	-1.493381 1.206217

Tableau 5.8 : Régression relative à la taille moyenne des firmes dans le commerce de détail

La régression montre que le coefficient associé aux actifs physiques n'est pas significatif. Conformément aux anticipations, les actifs informationnels font augmenter la taille des firmes en raison d'une complémentarité avec actifs humains ou d'une fusion destinée à exploiter les économies d'échelle informationnelles. Selon Wenger (1999), la complémentarité entre les actifs informationnels et humains se manifeste par une corrélation positive entre les actifs informationnels et la taille moyenne des firmes. Le résultat obtenu est une corrélation positive (0,1398), mais non significative. Par conséquent, la taille moyenne des firmes dans le commerce de détail augmente en raison des économies d'échelle informationnelles.

Le coefficient positif et significatif pour le capital humain est plus surprenant au regard des anticipations. Il peut résulter du phénomène de simultanéité. Ainsi, les grandes firmes possèdent des fonctions centrales qui requièrent des actifs humains hautement qualifiés. Wenger (1999) obtient un résultat semblable pour les trois secteurs regroupés lorsque la variable expliquée est la part des employés travaillant dans des administrations centrales. Ceci montre selon lui que les actifs humains sont cruciaux pour tirer parti des actifs informationnels.

Le tableau 5.9 ci-dessous donne les résultats de la régression relative à la taille moyenne des firmes dans les services.

. xi: regress empfall itshr collshr capsls I.sic if (sic!=), robust I.sic Isic_1-45 (Isic_1 for sic==701 omitted)					
Regression with robust standard errors					
				Number of obs =	122
				F(29, 91) =	188.96
				Prob > F =	0.0000
				R-squared =	0.9163
				Root MSE =	.0016

empfall	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	(95% Conf. Interval)
itshr	.0009937	.0002538	3.915	0.000	.0004895 .0014978
collshr	.0000648	.0018629	0.035	0.972	-.0036355 .0037652
capsls	7.85e-08	1.89e-07	0.415	0.679	-2.97e-07 4.54e-07

Tableau 5.9 : Régression relative à la taille moyenne des firmes dans les services

La régression montre que le capital humain n'est pas un facteur significatif pour expliquer le nombre moyen d'employés par firme. Le capital humain est d'un niveau élevé dans les services : le pourcentage de diplômés du secondaire n'est pas une variable suffisamment discriminante. La prise en compte du pourcentage de diplômés de l'enseignement supérieur rend le coefficient associé capital humain significatif ($p = 0,029$) et négatif ($- 0,0118705$) conformément aux résultats attendus.

De plus, comme les actifs physiques n'ont pas d'effet significatif sur la taille des firmes, la tendance à l'augmentation du nombre moyen d'employés par firmes résulte de l'influence exercée par les actifs informationnels. La taille moyenne des firmes augmente en raison d'une complémentarité avec des actifs humains ou d'une fusion visant à exploiter des économies d'échelles informationnelles. Selon Wenger (1999), la corrélation entre les actifs informationnels et la taille moyenne des firmes est positive (0,0806), mais non significative. L'hypothèse de la complémentarité n'est pas confirmée et seule l'exploitation des économies d'échelles informationnelles peut expliquer l'augmentation de la taille des firmes dans les services.

Le tableau 5.10 ci-dessous en donne une confirmation en montrant que les TI contribuent à l'augmentation du nombre moyen d'établissements par firmes (variable *estfall*).

```
. xi: regress estfall itshr itshrsq collshr capsls i.sic if (sic!= -), robust
      i.sic
      Isic_1-45      (Isic_1 for sic==701 omitted)
```

Regression with robust standard errors

Number of obs = 122
 F(30, 90) = 74.03
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.8924
 Root MSE = .05334

<i>estfall</i>	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
<i>itshr</i>	.1409701	.0493463	2.857	0.005	.042935	.2390051
<i>itshrsq</i>	-.0479007	.0215983	-2.218	0.029	-.0908095	-.004992
<i>collshr</i>	.0586132	.0820344	0.714	0.477	-.1043625	.2215889
<i>capsls</i>	7.69e-06	8.64e-06	0.891	0.375	-9.46e-06	.0000249

Tableau 5.10 : Régression relative au nombre moyen d'établissement par firme dans les services

Wenger (1999) estime que l'actif humain est non significatif car il capte l'effet positif de la complémentarité avec l'actif informationnel et l'effet négatif du changement dans la relation d'emploi sur la taille moyenne des firmes. De plus, il interprète le coefficient négatif associé à la variable *itshrsq* comme une réduction du nombre moyen d'établissements par firme au-delà d'un certain seuil d'informatisation. Les TI ont un effet positif puis négatif sur la taille moyenne en raison de l'exploitation des économies d'échelle informationnelles, puis de la transition vers une organisation en réseau. Les TI rendent les firmes multi-établissements plus efficaces, mais favorisent aussi l'émergence de structures en réseau.

L'étude de Wenger (1999) a donc mis en évidence des tendances sectorielles contradictoires quant à l'évolution de la taille moyenne des firmes. Celle-ci décroît dans l'industrie et augmente dans le commerce de détail et les services. Les TI jouent un rôle significatif dans ces deux tendances. D'une part, elles augmentent la productivité et la flexibilité des actifs physiques qui sont prépondérants dans l'industrie tout en réduisant les coûts de coordination. D'autre part, elles augmentent la valeur de l'actif informationnel (prépondérant dans le commerce et les services) ainsi que sa complémentarité avec les actifs humains. Les TI sont donc une technologie à portée générale, affectant divers secteurs de l'économie.

Ces résultats prolongent ceux obtenus par Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) qui mettaient en exergue le rôle des TI dans la diminution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie et dans les services. Mais le principal intérêt des travaux de Wenger (1999) est la synthèse qu'il parvient à réaliser entre l'approche empirique de Brynjolfsson, Malone,

Gurbaxani et Kambil (1994) et l'approche théorique de Brynjolfsson (1994). Le tableau ci-dessous retrace les différents effets des TI sur la taille des firmes évoqués par ces auteurs.

	Brynjolfsson (1994)	Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani, Kambil (1994)	Wenger (1999)
Diminution de la taille des firmes		Substitution des TI au facteur travail	Substitution de l'actif informationnel au travail non qualifié
	Actifs physiques moins spécifiques		Actifs physiques moins spécifiques
		externalisation	Réduction des coûts de coordination externe
	diffusion accrue des actifs informationnels vers les agents		
	Décentralisation des actifs informationnels et des actifs physiques		
			Capital humain hautement qualifié
Augmentation de la taille des firmes		Possibilité de complémentarité entre les TI et le facteur travail	Complémentarité entre l'actif informationnel et le travail qualifié
	Economies d'échelle informationnelles		Economies d'échelle informationnelles
		Possibilité de réduction des coûts de coordination interne	Réduction des coûts de coordination interne
	Centralisation des actifs informationnels (coordination) et des actifs physiques		

Tableau 5.11 : Récapitulatif de l'effet des TI sur la taille des firmes selon les différents auteurs

Les mécanismes les plus théoriques quant à l'évolution des frontières de la firme ne sont pas pris en compte dans l'étude empirique de Wenger (1999). Cette dernière intègre cependant des considérations relatives à l'influence des TI sur les frontières de la firme en indiquant que les TI renforcent les firmes multi-établissements avant de favoriser l'apparition de structures en réseau.

CONCLUSION DU CHAPITRE 5

La première section de ce chapitre avait pour objet de déterminer si les TI favorisent le recours à des prestataires extérieurs. Autrement dit, il s'agit de savoir si les TI engendrent des phénomènes d'externalisation se traduisant par une diminution de la taille des firmes. La théorie des contrats incomplets donne une représentation élaborée du lien entre les TI et les frontières de la firme. Elle met en évidence trois mécanismes impliquant un recours accru au marché et deux mécanismes impliquant un recours accru à la coordination par la firme. L'étude empirique appliquée au secteur du camionnage confirme l'existence de certains de ces mécanismes en montrant que les TI ont un effet différent sur les frontières suivant qu'elles améliorent le contrôle ou la coordination.

La deuxième section de ce chapitre avait pour but de déterminer si les TI contribuent à la diminution de la taille moyenne des firmes et de préciser par quel type de mécanisme cette diminution s'effectue. L'effet de substitution entre les TI et le facteur travail ne suffit pas à expliquer la diminution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie. Les TI engendrent une baisse des coûts de coordination externe ayant pour conséquence un recours accru à la coordination par le marché. De plus, les TI ont une influence indirecte sur la taille moyenne des firmes à travers leurs effets sur les actifs physiques et humains. Les TI font augmenter la taille moyenne des firmes dans les services car elles permettent la réalisation d'économies d'échelles informationnelles.

De manière étonnante, les études empiriques traitant du lien entre TI et taille des firmes ne font jamais référence aux prédictions des modèles exposés lors de la première partie. Pourtant, le caractère contradictoire de ces prédictions offre un champ d'exploration empirique intéressant. Le chapitre suivant se propose de conduire une étude empirique originale des liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises comptables pour vérifier les prédictions du modèle présenté lors de la deuxième partie. Cette étude s'appuie sur les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » conduite en 1997 par l'INSEE et la DARES auprès des dirigeants et des salariés de ces entreprises.

CHAPITRE 6 : INFORMATISATION, ENVIRONNEMENT ET EVOLUTION DE LA TAILLE DES ENTREPRISES COMPTABLES

Le chapitre 2 a mis en évidence la variété des prédictions issues des modèles s'inspirant de la théorie des équipes quant à l'effet de l'informatisation et de l'environnement sur la taille optimale des activités administratives. De plus, les TI ont un effet ambigu sur la taille des entreprises car elles ont des effets opposés sur la taille des activités administratives et sur la taille des activités de production. Selon Meagher, Orbay et Van Zandt (2004), les TI favorisent l'augmentation de la taille des activités de production tout en faisant diminuer le nombre des agents administratifs dans chaque service.

Le chapitre 4 a montré que l'informatisation conduit à une diminution du nombre des agents administratifs quand l'augmentation de leur capacité de traitement dépasse un certain seuil. En outre, l'augmentation de la quantité des données à traiter atténue les effets de l'informatisation et peut même favoriser l'augmentation du nombre des agents administratifs quand la priorité est donnée au maintien du délai. Bien que plusieurs modèles offrent des prédictions quant aux liens entre TI et taille des entreprises, les investigations empiriques restent rares dans ce domaine. Lors du chapitre 5, nous avons vu que les études empiriques s'inspirent de la théorie des contrats incomplets et non pas de la théorie des équipes.

Dans ce chapitre, nous nous proposons d'étudier empiriquement les liens entre l'informatisation, l'environnement et la taille des entreprises en nous inspirant des modèles présentés lors des deux premières parties. Cette étude s'appuie sur les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » (C.O.I.) conduite en 1997 par l'INSEE et la DARES auprès des dirigeants et des salariés des entreprises comptables¹.

Nous procéderons dans un premier temps à une description des principales caractéristiques des entreprises comptables. Nous verrons dans un deuxième temps quelles sont les variables utilisées pour étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Nous essaierons de déterminer dans un troisième temps si l'évolution de l'informatisation et de l'environnement sont liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

¹ Greenan et Hamon-Cholet (2003) procèdent à une description globale du dispositif d'enquête qui concerne également les dirigeants et les salariés des entreprises de l'industrie et du commerce de bricolage. L'annexe 1 reproduit la présentation du dispositif d'enquête donnée par Cases et Rouquette (2000) qui développe les aspects spécifiques aux activités comptables.

I) Une description des principales caractéristiques des entreprises comptables

Cases et Rouquette (2000) justifient le choix des activités comptables pour étudier l'informatisation et le changement organisationnel par l'importance des groupes et des réseaux d'entreprises². D'après elles, ce mode d'organisation, équivalent de la sous-traitance dans l'industrie, peut encourager l'utilisation des réseaux informatiques. Notre objectif est de trouver un champ d'investigation empirique adéquat pour étudier les liens entre l'informatisation, l'environnement et la taille des entreprises dans la perspective des modèles s'inspirant de la théorie des équipes.

Selon Radner (1992), l'analyse économique des activités administratives s'applique aux grandes entreprises de l'industrie ou des services. L'enquête C.O.I. interroge les dirigeants et les salariés des entreprises dans l'industrie manufacturière, les industries agro-alimentaires, le commerce de détail de bricolage ou les activités comptables. Plusieurs raisons justifient selon nous de retenir ces dernières pour étudier les liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises. D'une part, ces entreprises sont caractérisées par leur nature administrative marquée en dépit de leur petite taille et par leur importante informatisation. D'autre part, l'enquête C.O.I. contient des questions relatives aux contraintes exercées par l'environnement sur l'organisation et l'informatisation des entreprises comptables³.

Dans un premier temps, nous verrons que les entreprises comptables relèvent d'une activité de main-d'œuvre où la composante administrative est particulièrement marquée. Dans un deuxième temps, nous verrons à l'aide des données de l'enquête C.O.I. que les entreprises comptables sont fortement informatisées et qu'elles le sont d'autant plus que leur taille est importante. Dans un troisième temps, nous verrons qu'il existe des différences dans les caractéristiques de l'informatisation, de l'organisation et de l'environnement suivant la taille des entreprises comptables.

² Voir Cases (1997) pour une description des caractéristiques juridiques, techniques et économiques des réseaux d'entreprises dans les activités comptables et le conseil.

³ Les questionnaires relatifs aux différents volets de l'enquête sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.enquete-coi.net>

A- Les entreprises comptables relèvent d'une activité de main-d'œuvre où la composante administrative est particulièrement marquée

D'après la base SIRENE (INSEE)⁴, les activités comptables comportent 17995 entreprises actives au 31 décembre 1997. 95% de ces entreprises sont mono-régionales et 88% sont mono-établissements. Selon Cases et Rouquette (2000), ces entreprises emploient 111000 salariés en 1996 et réalisent un chiffre d'affaires de 51 milliards de Francs. Ces auteurs identifient une caractéristique importante des entreprises comptables : leur appartenance aux activités de main-d'œuvre. En effet, le taux d'investissement des entreprises comptables est faible : il correspond à 2% de la valeur ajoutée. De plus, un quart des entreprises ne procèdent à aucun investissement en 1996.

La base SIRENE montre également que les activités comptables sont composées pour l'essentiel de très petites entreprises. En 1997, le nombre des entrepreneurs individuels (8941) est comparable au nombre des sociétés (8775). 13085 entreprises emploient moins de 5 salariés et 4058 entreprises emploient entre 6 et 19 salariés. Les entreprises employant entre 500 et 1999 salariés sont au nombre de 7 et celles employant plus de 2000 salariés sont au nombre de 2. Cases et Rouquette (2000), qualifient de « grandes entreprises » celles qui emploient plus de 20 salariés. Elles représentent en 1996 moins de 7% du nombre total des entreprises.

Le système unifié de statistiques d'entreprises (SUSE-INSEE) met en évidence une forte concentration des entreprises comptables. Les 10 premières entreprises représentent en 1997 14% du chiffre d'affaires et 11% des effectifs. De plus, le montant du chiffre d'affaires moyen (666 kiloeuros) est supérieur à celui correspondant au troisième quartile (592 kiloeuros). Il en va de même en ce qui concerne les effectifs salariés : la moyenne (9,25) est supérieure au troisième quartile (9). Cases et Rouquette (2000) constatent qu'en 1996, les entreprises de plus de 100 salariés représentent 0,5% du nombre total des entreprises, mais qu'elles concentrent 20% de l'emploi et des recettes du secteur.

Dans les entreprises de 1 salarié et plus, un poste est considéré comme annexe quand le volume de travail associé est trop faible. D'après les déclarations annuelles de données sociales (DADS-INSEE), il existe dans les activités comptables 105316 postes non annexes au 31 décembre 1997. Les effectifs à temps non complet représentent un peu plus de 17% des effectifs totaux. Cases et Rouquette (2000) considèrent que la stabilité de l'emploi est l'un des

⁴ Sauf mention contraire, les chiffres évoqués sont issus de la base ALISSE accessible sur le site Internet de l'INSEE (<http://www.insee.fr>)

traits caractéristiques des activités comptables. D'après elles, près de six salariés sur dix sont employés à temps plein durant l'année civile, ce qui est un chiffre élevé dans les activités de services.

Enfin, la répartition du nombre de postes non annexes et des rémunérations brutes versées entre les différents types d'emplois fait apparaître l'importance des fonctions administratives dans les activités comptables. En 1997, les professions intermédiaires administratives et commerciales représentent 40407 postes non annexes, soit 38,4% du nombre total de ces postes et elles reçoivent 32,3% des rémunérations brutes versées. Les employés administratifs représentent 31274 postes non annexes, soit 29,7% du nombre total de ces postes et ils reçoivent 19% des rémunérations brutes versées. Les cadres administratifs et commerciaux représentent 17596 postes non annexes, soit 16,7% du nombre total de ces postes et ils reçoivent 31,8% des rémunérations brutes versées.

Au total, la composante administrative représente 84,8% des postes non annexes et 83,1% des rémunérations versées dans les activités comptables. Il est donc plausible que les TI affectent la taille des entreprises comptables en faisant évoluer le nombre des emplois administratifs. Les caractéristiques de l'emploi dans les activités comptables en font un champ d'investigation empirique adéquat pour étudier les liens entre informatisation et taille des entreprises dans la perspective des modèles s'inspirant de la théorie des équipes.

Dans ce but, il est également important de décrire les principales caractéristiques de l'informatisation des entreprises comptables. Les données de l'enquête C.O.I. montrent que les entreprises comptables sont fortement informatisées et qu'elles le sont d'autant plus que leur taille est importante.

B- D'après les données de l'enquête C.O.I., les entreprises comptables sont fortement informatisées et elles le sont d'autant plus que leur taille est importante

Bien que les activités comptables se caractérisent par une majorité de très petites entreprises, presque toutes les entreprises sont informatisées. Cases et Rouquette (1999, 2000) s'appuient sur les données de l'enquête C.O.I. pour montrer que 98% des entreprises comptables utilisent en 1997 au moins l'un des sept logiciels spécialisés mentionnés dans le questionnaire. D'autres questions de l'enquête donnent une description détaillée de l'informatisation des entreprises comptables en 1994 et en 1997. Elles traitent de divers aspects de l'informatisation tels que les matériels, l'existence de transferts de données avec les partenaires, l'utilisation de l'informatique en interne ou l'utilisation d'Internet.

Cases et Rouquette (2000) observent que l'informatisation est plus marquée dans les grandes entreprises que dans les petites entreprises. En ce qui concerne les matériels, l'adoption des ordinateurs portables et leur connexion en réseau est d'autant plus forte que la taille des entreprises est élevée. Le tableau 6.1 issu de Cases et Rouquette (2000) montre que la mise en réseau des ordinateurs et la mise en réseau des portables ont progressé de 24 points entre 1994 et 1997 pour l'ensemble des entreprises. Néanmoins, la progression est plus forte pour les entreprises de plus de 100 salariés (respectivement + 50 points et + 54 points) au regard de la progression pour les entreprises comportant entre 1 et 9 salariés (respectivement + 22 points et + 20 points).

	Taille de l'entreprise									
	1 à 9 salariés		10 à 19 salariés		20 à 99 salariés		100 salariés et plus		Ensemble	
	1994	1997	1994	1997	1994	1997	1994	1997	1994	1997
Ordinateurs de bureau non connectables	60%	55%	47%	48%	61%	52%	74%	53%	59%	54%
Ordinateurs de bureau en réseau	27%	49%	44%	70%	44%	78%	42%	92%	30%	54%
Portables non connectables	23%	33%	24%	37%	38%	43%	59%	45%	25%	34%
Portables en réseau	14%	34%	20%	55%	24%	61%	29%	83%	15%	39%
Mini-ordinateurs et grands systèmes	24%	24%	45%	46%	51%	49%	64%	63%	29%	29%

Tableau 6.1 : Evolution du taux d'équipement selon la taille de l'entreprise et le type de matériel

Source : Cases et Rouquette (2000)

En 1997, plus de 90% des entreprises utilisent certains logiciels spécialisés (aide à l'établissement de comptes, production de documents de paie, production d'états financiers...). Néanmoins, les logiciels de révision des comptes ou d'aide au conseil sont moins utilisés par les petites entreprises. Ainsi, 49% des entreprises de moins de 20 salariés utilisent des logiciels de révision des comptes alors que 63% des entreprises de plus de 100 salariés le font. De même, 39% des entreprises de moins de 20 salariés utilisent des logiciels d'aide au conseil alors que 56% des entreprises de plus de 100 salariés le font. Selon Cases et Rouquette (2000), ces deux sortes de logiciels sont utilisés par les cabinets d'audit qui sont caractérisés par leur grande taille dans la branche des activités comptables.

Les mises en réseau de communication sont encore peu fréquentes en 1997. Cases et Rouquette (2000) constatent que 15% des entreprises utilisent l'Internet pour la messagerie électronique, 14% l'utilisent pour l'échange de fichier, 13% l'utilisent pour trouver des

informations et 3% l'utilisent pour en diffuser. Au total, seulement 19% des entreprises utilisent l'Internet pour accomplir l'une de ces quatre fonctions, mais cette utilisation est fortement corrélée à la taille. Les entreprises de plus de 100 salariés y recourent quatre fois plus que les entreprises de moins de cinq salariés.

L'utilisation d'outils informatiques récents tels que les bases de données documentaires internes, l'Intranet ou la messagerie interne est encore peu courante en 1997. Ces outils concernent respectivement 25% et 9% des entreprises, mais ils sont beaucoup plus répandus dans les grandes entreprises. D'après Cases et Rouquette (2000), seules 8% des entreprises de moins de 10 salariés disposent d'un Intranet ou d'une messagerie interne alors que ces outils sont utilisés par plus de 50% des entreprises. Cette disparité peut également être constatée dans l'utilisation des fichiers informatisés de clients : 26% des entreprises de moins de dix salariés y ont recours contre 70% des entreprises de plus de cent salariés.

Enfin, Cases et Rouquette (2000) observent que l'implication des dirigeants et associés dans les différentes activités relevant de la fonction informatique diffère suivant la taille des entreprises. En 1997, ils choisissent les matériels et les logiciels respectivement dans 93% et 84% des entreprises et s'occupent de maintenance, de formation et d'assistance aux utilisateurs dans 40% des entreprises. Mais dans les entreprises de plus de 100 salariés, les choix techniques sont délégués au responsable informatique dans 75% des cas.

Cases et Rouquette (2000) ont montré que l'informatisation est d'autant plus forte que la taille des entreprises comptables est importante. La suite de leur analyse fait apparaître des différences dans les caractéristiques de l'informatisation, de l'organisation et de l'environnement suivant la taille des entreprises comptables.

C- Les caractéristiques de l'informatisation, de l'organisation et de l'environnement diffèrent suivant la taille des entreprises comptables

Cases et Rouquette (2000) ont mis en évidence des différences dans l'informatisation des entreprises comptables suivant leur taille. Ces auteurs remarquent que les caractéristiques de l'organisation dépendent également de la taille de ces entreprises. Dans les petites entreprises, les dirigeants sont responsables de tâches diverses alors que les responsabilités des cadres se distinguent de celles des dirigeants dans les grandes entreprises. Les cadres allouent le travail, participent aux équipes de projets et contrôlent la qualité. Les dirigeants identifient les nouveaux besoins, proposent de nouvelles missions et impulsent l'amélioration des performances. De même, la spécialisation du personnel (par tâche, par type de mission, par domaine de compétence et par type de client) est plus marquée dans les grandes entreprises.

Selon Cases et Rouquette (2000), les grandes entreprises font face à un environnement plus perturbé que les petites entreprises. Globalement, 55% des entreprises font face à des fluctuations prévisibles de la demande, alors que 31% font face à des fluctuations imprévues. Néanmoins, la saisonnalité affecte plus fortement les grandes entreprises. 70% des entreprises de plus de 20 salariés sont confrontées à des fluctuations prévisibles de la demande, alors que cette situation ne concerne que 50% des entreprises de moins de 20 salariés. Les entreprises comptables s'adaptent à ces fluctuations par les heures supplémentaires et par la modulation du temps de travail. Les entreprises de plus de 20 salariés recourent également aux CDD, aux stagiaires et au travail à temps partiel.

Cases et Rouquette (2000) recourent à une analyse des correspondances multiples (ACM) pour mettre en évidence les liens entre informatisation, organisation et taille des entreprises comptables. L'ACM utilise 17 variables actives issues de l'enquête C.O.I.⁵ et considère également des variables supplémentaires décrivant les caractéristiques de la main-d'œuvre (sexe, âge, stabilité de l'emploi). L'ACM intègre aussi en tant que variables supplémentaires les caractéristiques économiques de l'entreprise (chiffre d'affaires, nombre de salariés, taux d'investissement, efficacité économique).

L'ACM conduite par Cases et Rouquette (2000) montre l'existence de liens marqués entre l'informatisation, l'organisation et la taille des entreprises comptables. D'après l'axe 1 de l'ACM, les entreprises communiquant avec leurs partenaires via les réseaux informatiques ont en moyenne plus de 10 salariés et un chiffre d'affaires supérieur à 4,5 millions de francs. Au contraire, les entreprises plus traditionnelles dans l'informatisation et l'organisation du travail ont moins de trois salariés et un chiffre d'affaires inférieur à 1,4 millions de francs. D'après l'axe 5 de l'ACM, les entreprises utilisant les réseaux et Internet sont caractérisées par un chiffre d'affaires et des effectifs élevés. Au contraire, les entreprises recourant aux dispositifs organisationnels formalisés et à l'externalisation sont caractérisées par un chiffre d'affaires et des effectifs faibles.

Enfin, l'application d'une classification ascendante hiérarchique aux cinq axes de l'ACM permet de regrouper les entreprises en cinq classes homogènes⁶. Cases et Rouquette (2000) estiment que ces classes montrent les étapes chronologiques par lesquelles un cabinet traditionnel (classe 1) devient innovant (classe 5) du point de vue de l'informatisation et de l'organisation du travail. Le tableau 6.2 issu de l'article de Cases et Rouquette (2000) montre

⁵ L'annexe 2 donne une présentation plus détaillée de l'ACM conduite par Cases et Rouquette (2000).

⁶ L'annexe 3 donne une présentation plus détaillée de la classification menée par Cases et Rouquette (2000).

que le nombre moyen de salariés est le plus faible pour les entreprises traditionnelles informatisées (classe 2) et qu'il est le plus fort pour les entreprises qui se modernisent entre 1994 et 1997 (classe 3). Le nombre moyen de salariés prend des valeurs intermédiaires pour les entreprises pionnières (classe 4) et les entreprises innovantes (classe 5) en matière de changements organisationnels.

	Classe					Ensemble
	1	2	3	4	5	
Nombre d'entreprises	211	239	231	232	52	965
Chiffre d'affaires moyen (en MF)	7,9	8,9	34,1	22,4	14,2	18,2
Nombre moyen de salariés	20,6	20,3	80,1	48,3	37,1	42,3
Entreprises disposant d'un réseau de micro-ordinateurs	13%	93%	81%	85%	92%	71%
Entreprises utilisant l'informatique de façon intensive	29%	36%	74%	86%	69%	57%
Entreprises utilisant l'Internet	10%	12%	45%	41%	54%	29%
Entreprises avec plus d'un dispositif organisationnel	42%	37%	92%	61%	77%	59%
Entreprises où les responsabilités des cadres ont augmenté	8%	8%	35%	13%	94%	20%
Entreprises où les responsabilités des chefs d'entreprise ont diminué	0%	0%	0%	0%	96%	5%
Entreprises employant moins de femmes que l'entreprise médiane	56%	56%	70%	65%	67%	62%
Entreprises avec encadrement (en dehors du chef d'entreprise)	65%	69%	87%	88%	85%	78%

Tableau 6.2 : Cinq classes d'entreprises comptables

Source : Cases et Rouquette (2000)

Ces résultats suggèrent que le nombre moyen de salariés est lié aux caractéristiques de l'informatisation et de l'organisation des entreprises comptables. En effet, 92% des entreprises de la classe 3 utilisent plus d'un dispositif organisationnel, 74% de ces entreprises utilisent l'informatique de manière intensive et 45% d'entre elles utilisent Internet. Ces chiffres sont le plus souvent supérieurs à ceux des quatre autres classes. Par conséquent, les caractéristiques de l'informatisation, de l'organisation et de l'environnement diffèrent suivant la taille des entreprises comptables.

La description des principales caractéristiques des entreprises comptables nous a conduit à mettre en évidence l'importance de l'emploi administratif ainsi que leur forte informatisation. De plus, nous avons vu que les caractéristiques de l'informatisation, de l'organisation et de l'environnement diffèrent suivant la taille des entreprises comptables. Ces différents

phénomènes justifient selon nous une étude des liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises dans la perspective des modèles s'inspirant de la théorie des équipes.

L'étude des liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises comptables doit néanmoins s'affranchir de l'existence d'un effet de taille en considérant l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. A présent, nous allons voir quelles sont les variables utilisées pour étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

II) Les variables utilisées pour étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997

Les résultats issus des données de l'enquête C.O.I. présentés lors de la section précédente ont mis en évidence des différences dans l'informatisation, l'organisation et l'environnement suivant la taille des entreprises comptables. Par la suite, nous considérerons l'évolution de l'informatisation et de la taille entre 1994 et 1997 afin d'éviter que les estimations ne reflètent l'existence d'un effet de taille. Ceci nous conduit à apparier les données de l'enquête C.O.I. avec celles des enquêtes annuelles d'entreprises (E.A.E.) relatives aux services. Dans ces dernières, plusieurs variables permettent de mesurer la taille des entreprises (effectifs, masse salariale, valeur ajoutée).

L'enquête C.O.I. relative aux activités comptables contient 1482 entreprises, 1278 d'entre elles ayant répondu à l'intégralité ou à une partie du questionnaire. L'E.A.E. services de 1994 contient 1806 entreprises comptables (NAF 74.1C) et l'E.A.E. services 1997 contient 2347 entreprises comptables. Cette différence dans le nombre des entreprises comptables s'explique par des changements dans la définition des grandes entreprises entre 1994 et 1997. A partir de 1996, les grandes entreprises sont celles qui comportent plus de 20 salariés contre 30 salariés avant 1996. Ces « grandes » entreprises figurent toutes dans les E.A.E. qui considèrent également un échantillon de « petites » entreprises. L'appariement de ces différentes données donne un échantillon de 3648 entreprises figurant dans au moins l'une des trois enquêtes.

Il reste à déterminer quelles sont les variables utilisées pour étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Nous procéderons d'abord à une première analyse des liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Nous verrons ensuite que d'autres variables peuvent être liées à l'évolution de la taille ou à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

A- Une première analyse des liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997

Notre objectif est de vérifier empiriquement les prédictions relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives présentées auparavant. Dans ce but, il convient de déterminer quelles sont les variables adéquates pour représenter l'informatisation, l'environnement et la taille des entreprises. En effet, plusieurs mesures de l'informatisation ou de la taille des entreprises comptables sont envisageables et la richesse des données de l'enquête C.O.I. permet d'envisager plusieurs conceptions de l'environnement de ces entreprises.

De plus, nous procédons à une première analyse des liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables en nous appuyant sur les coefficients de corrélation et sur les tests de Student. Nous verrons d'abord si l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables a un lien avec l'évolution de leur taille entre 1994 et 1997. Nous verrons ensuite si l'évolution de l'environnement des entreprises comptables a un lien avec l'évolution de leur informatisation et avec celle de leur taille entre 1994 et 1997.

1) L'évolution de l'informatisation des entreprises comptables a-t-elle un lien avec l'évolution de leur taille entre 1994 et 1997 ?

Plusieurs mesures de l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997 sont envisageables a priori. Les enquêtes annuelles d'entreprises contiennent en effet des données relatives aux effectifs, à la valeur ajoutée et aux salaires dans chaque entreprise répondante. Le nombre des établissements dans chaque entreprise n'est disponible qu'à partir de 1996. Le fait d'étudier une branche particulière des services plutôt que le secteur des services dans son ensemble nous conduit à retenir une définition de la taille distincte de celle de Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994) ou de Wenger (1999). Dans le cadre de l'étude d'une branche, il n'est pas possible de rapporter les effectifs, le nombre d'établissements, la valeur ajoutée ou la masse salariale au nombre d'entreprises.

Notre étude empirique se propose de vérifier les prédictions relative aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives. Dans les modèles exposés lors des deux premières parties, cette dernière est assimilé au nombre des agents. Ceci rend la mesure de la taille des entreprises comptables par les effectifs plus naturelle que la mesure par la valeur ajoutée ou par les salaires. L'évolution de la taille entre 1994 et 1997

est donc mesurée par la différence entre les effectifs au 31 décembre 1997 et les effectifs au 31 décembre 1994. Par la suite, la variable EFSA décrit l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Le volet « entreprises comptables » de l'enquête C.O.I. contient de nombreuses questions relatives à la stratégie d'informatisation. Ainsi, les questions 13 et 14 traitent des matériels et des logiciels utilisés par les entreprises comptables. Les questions 19 et 20 concernent les échanges d'informations internes à ces entreprises et les transferts de données avec leurs différents partenaires. Enfin, les questions 21 et 22 décrivent les différents aspects de l'informatique en interne (intranet, CD-ROM, archivage, marketing, base de données) et plusieurs modalités d'utilisation d'Internet.

Les données relatives à l'informatisation se présentent sous la forme de nombreuses variables qualitatives alors qu'elles se limitaient à une variable quantitative ou qualitative dans les études empiriques exposées lors du chapitre précédent. L'inclusion directe de ces diverses variables qualitatives dans une régression peut poser problème en raison de phénomènes de complémentarité dans l'adoption de certains matériels, de certains logiciels ou de certains transferts. Ce phénomène risque de se traduire par des multicollinéarités entre les variables d'informatisation figurant dans les régressions, ce qui nous conduit à y intégrer un nombre réduit de variables d'informatisation.

Le problème est de résumer l'information contenue dans les questions de l'enquête relatives à l'informatisation sans en perdre la richesse. Selon Greenan et Mairesse (2003), le recours aux analyses des correspondances multiples (ACM) présente un double avantage. Premièrement, elles permettent d'extraire d'un vaste ensemble de variables qualitatives un petit nombre de variables fortement corrélées. Deuxièmement, elles offrent la possibilité de construire des variables synthétiques lorsque les variables pertinentes pour l'analyse ne sont mesurables qu'indirectement par un grand nombre de variables qualitatives.

Ce dernier argument nous a conduit à procéder à des ACM à partir des données de l'enquête C.O.I. pour obtenir une mesure synthétique et quantitative de l'informatisation. Les coordonnées de chaque entreprise sur les axes factoriels issus des ACM sont considérées comme une mesure synthétique de leur informatisation. Il s'agit alors de choisir le nombre d'axes factoriels pertinents et de donner une interprétation à ces axes ou à ces variables synthétiques. De plus, il convient d'éviter que des modalités rares ne viennent créer artificiellement des axes factoriels, ce qui reviendrait à considérer une variable synthétique d'informatisation inadéquate.

Gollac, Greenan et Hamon-Cholet (2000), puis Greenan et Mairesse (2004) ont appliqué des ACM aux données de l'enquête C.O.I. pour obtenir des variables synthétiques représentant l'évolution de l'informatisation dans l'industrie entre 1994 et 1997. Nous adoptons une démarche similaire pour les entreprises comptables en construisant deux sortes de variables synthétiques. La première sorte de variables résulte d'une ACM intégrant des variables qualitatives indiquant l'adoption, l'absence d'adoption, l'adoption dès 1994 ou l'abandon des composantes de la stratégie d'informatisation entre 1994 et 1997. La deuxième sorte de variables résulte de deux ACM intégrant les variables qualitatives de l'enquête C.O.I. en 1994 puis en 1997⁷. La variable synthétique est obtenue en faisant la différence des coordonnées des entreprises sur les axes factoriels pertinents pour un même système de poids.

Le premier axe factoriel de l'ACM intégrant des variables qualitatives indiquant l'adoption, l'absence d'adoption, l'adoption dès 1994 ou l'abandon des composantes de la stratégie d'informatisation entre 1994 et 1997 explique 14,61% de l'inertie totale. Les trois axes suivants expliquent respectivement 7,59%, 6,38% et 5,02% de l'inertie totale. Le premier axe factoriel s'interprète aisément comme un indicateur de l'adoption de matériels, de logiciels ou de transferts entre 1994 et 1997. En effet, les coordonnées des modalités relatives à l'adoption sur ce premier axe sont systématiquement positives, les coordonnées des modalités relatives à l'absence d'adoption sont toujours négatives et les modalités relatives à une adoption dès 1994 prennent des valeurs intermédiaires.

Le deuxième axe factoriel de l'ACM est plus difficile à interpréter que le premier car les coordonnées associées à la modalité 'déjà adopté en 1994' prennent systématiquement des valeurs supérieures aux modalités 'adoption' et 'pas d'adoption'. Le troisième axe factoriel de l'ACM pose également problème pour l'interprétation car les coordonnées associées à la modalité 'déjà adopté en 1994' prennent des valeurs supérieures aux deux autres pour trois des cinq variables qualitatives relatives aux transferts. Ainsi, nous considérons que les coordonnées des entreprises sur le premier axe factoriel de l'ACM (variable AXE1) constituent une mesure synthétique de l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. Plus la valeur de AXE1 est forte, plus l'entreprise a adopté de nouveaux matériels, logiciels ou transferts entre 1994 et 1997.

⁷ L'annexe 4 décrit les variables qualitatives de l'enquête C.O.I. retenues dans chacune de ces ACM. L'objectif étant de mesurer l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997, les variables caractérisées par plus de 95% d'adoption dès 1994 ne sont pas considérées. Ce phénomène concerne cinq des sept logiciels mentionnés dans la question 14 de l'enquête C.O.I.. D'autre part, les gros systèmes et les mini-ordinateurs sont écartés car ils sont surtout répandus dans les grandes entreprises industrielles. Enfin, les ordinateurs fixes et portables non connectés en réseau ne sont pas inclus dans les ACM car ils sont remplacés par des matériels connectables.

Deux autres ACM sont appliquées aux variables qualitatives d'informatisation de l'enquête C.O.I. pour l'année 1994, puis l'année 1997. Le premier axe factoriel de l'ACM intégrant les variables qualitatives de l'enquête COI en 1997 explique 21,74% de l'inertie totale. Les trois axes suivants expliquent respectivement 10,06%, 6,75% et 6,14% de l'inertie totale. Le premier axe factoriel est assimilable à un indicateur de l'utilisation de matériels, de logiciels ou de transferts en 1997. En effet, les coordonnées associées à la modalité 'utilisation' sont systématiquement positive, alors que les coordonnées associées à la modalité 'pas d'utilisation' sont systématiquement négatives. Le deuxième axe factoriel de l'ACM pose problème pour l'interprétation car les coordonnées associées aux modalités 'utilisation' et 'pas d'utilisation' peuvent prendre des valeurs à la fois positives ou négatives. Ce phénomène se reproduit pour le troisième axe factoriel, ce qui nous conduit à retenir les coordonnées du premier axe factoriel comme seul indicateur synthétique de l'informatisation en 1997.

Le premier axe factoriel de l'ACM intégrant les variables qualitatives relatives à l'année 1994 et tenant compte du poids associé à l'ACM relative à l'année 1997 explique 21,84% de l'inertie totale. Les trois axes suivants expliquent respectivement 13,35%, 11,76% et 11,13% de l'inertie totale. Le premier axe factoriel s'interprète de nouveau comme un indicateur de l'utilisation de matériels, de logiciels ou de transferts en 1994. En effet, les coordonnées associées à la modalité 'utilisation' sont toujours positive, alors que les coordonnées associées à la modalité 'pas d'utilisation' sont toujours négatives. Le deuxième axe factoriel de l'ACM pose encore problème pour l'interprétation car les coordonnées associées aux modalités 'utilisation' et 'pas d'utilisation' peuvent prendre des valeurs à la fois positives ou négatives. Il en va de même pour le troisième axe factoriel, ce qui nous conduit à retenir les coordonnées du premier axe factoriel comme seul indicateur synthétique de l'informatisation en 1994.

La deuxième variable synthétique décrivant l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997 est obtenue en faisant la différence des coordonnées des entreprises sur le premier axe factoriel des ACM relatives aux années 1997 et 1994. L'ACM appliquée aux variables qualitatives d'informatisation pour l'année 1994 tient compte du poids associé à l'ACM appliquée aux variables qualitatives d'informatisation pour l'année 1997.

La variable synthétique DTI1 décrit également l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. Ainsi, l'entreprise pour laquelle la valeur de DTI1 est la plus faible⁸ se caractérise par l'utilisation des matériels, des logiciels et de trois des cinq transferts dès 1994, par l'adoption

⁸ L'annexe 5 donne les statistiques descriptives et la matrice des corrélations associées aux variables quantitatives considérées lors de ce chapitre.

d'un transfert et de deux utilisations des TI en interne entre 1994 et 1997. Au contraire, l'entreprise pour laquelle la valeur de DTI1 est la plus forte se caractérise par l'adoption des matériels, des logiciels, de deux transferts et de huit des 9 utilisations des TI entre 1994 et 1997. Enfin, les deux variables synthétique d'informatisation sont fortement corrélées : le coefficient de corrélation est de 0,8124 et il est significatif au seuil de 1%.

Par ailleurs, il existe une corrélation positive et significative entre l'évolution de la taille et les deux mesures de l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. Le coefficient de corrélation entre EFSA et AXE1 est de 0,1310 et le coefficient de corrélation entre EFSA et DTI1 est de 0,1290. Ces deux coefficients sont positifs et significatifs au seuil de 5%.

Ainsi, nous avons vu que l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables a un lien avec l'évolution de leur taille entre 1994 et 1997. A présent, il s'agit de déterminer si l'évolution de l'environnement des entreprises comptables a un lien avec l'évolution de leur informatisation et de leur taille entre 1994 et 1997.

2) L'évolution de l'environnement des entreprises comptables a-t-elle un lien avec l'évolution de leur informatisation et de leur taille entre 1994 et 1997 ?

Lors de la première partie, nous avons vu que les caractéristiques de l'environnement des entreprises ont une influence sur la taille optimale des activités administratives. Par exemple, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) montrent que la dispersion et la volatilité des préférences des consommateurs ont des effets opposés sur cette taille optimale. Lors de la deuxième partie, nous avons vu que l'augmentation de la quantité des données à traiter favorise l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents dans le but de maintenir le délai à son niveau initial.

Selon nous, trois variables qualitatives de l'enquête C.O.I. permettent d'étudier les liens entre environnement, informatisation et taille des entreprises comptables⁹. D'une part, l'une des rubriques de la question 4 mentionne la contrainte que l'incertitude sur les marchés peut exercer sur l'organisation des entreprises comptables (OMARCH4). D'autre part, les deux rubriques de la question 10 de l'enquête C.O.I. traitent de l'existence ou non de l'ajustement de la production à la demande de manière attendue ou aléatoire (ATTEN10 et ALEA10).

Nous procédons à plusieurs tests de Student pour déterminer si ces trois variables ont un lien avec l'évolution des effectifs (EFSA), puis avec l'évolution des deux variables synthétiques

⁹ L'annexe 6 donne une description des différentes variables qualitatives issues de l'enquête C.O.I. considérées lors de ce chapitre.

d'informatisation (AXE1 et DTI1). Les ajustements prévus à la demande impliquent une augmentation plus forte des effectifs entre 1994 et 1997, alors que les ajustements imprévus n'impliquent pas de différence significative dans l'évolution des effectifs. Enfin, l'incertitude sur les marchés fait significativement obstacle à l'augmentation des effectifs. Les fluctuations prévues et imprévues de la demande contribuent significativement à l'augmentation de l'informatisation entre 1994 et 1997 alors que l'incertitude sur les marchés ne se traduit pas par une différence significative dans l'évolution de l'informatisation.

D'un point de vue théorique, d'autres liens entre l'environnement et l'informatisation ont été brièvement évoqués par Van Zandt et Radner (2001). Selon ces auteurs, la concurrence peut favoriser l'informatisation des activités administratives pour gagner en réactivité. Selon l'INSEE (1999), les activités comptables se caractérisent par leur faible taux de création ou de défaillances d'entreprises entre 1994 et 1997. Entre ces deux dates, le nombre d'entreprises créées diminue de 969 à 860, ce qui correspond à un taux de création de 5% qui est le plus faible au regard des autres branches du service aux entreprises. En 1996, le nombre d'entreprises comptables défaillantes est de 64, puis de 58 en 1997, ce qui correspond à un taux de défaillance de 0,4%. Seules les activités juridiques ont un taux plus faible (0,1%).

Dans l'enquête C.O.I., deux variables décrivent l'environnement stratégique des entreprises comptables. Les variables OCOMPT4 et OAUTR4 concernent respectivement les contraintes exercées sur l'organisation par la concurrence des entreprises comptables et par la concurrence des entreprises de conseil ou des cabinets juridiques. Les tests de Student montrent que ces variables n'affectent ni l'évolution des effectifs, ni l'évolution de l'informatisation. Le manque de références théoriques, la faiblesse des taux de création et de défaillance et les résultats des tests de Student nous conduisent à ne pas tenir compte de ces deux variables par la suite.

Nous avons vu grâce aux tests de Student que les trois variables décrivant l'environnement des entreprises comptables ont un lien avec l'évolution de leurs effectifs ou avec l'évolution de leur informatisation. D'autres variables peuvent être liées à l'évolution de la taille ou à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

B- D'autres variables peuvent être liées à l'évolution de la taille ou à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997

Nous avons vu que l'environnement des entreprises comptables a un lien avec l'évolution de leur informatisation et avec celle de leurs effectifs entre 1994 et 1997. D'autres variables sont également liées à l'évolution de l'informatisation ou à celle des effectifs de ces entreprises

entre 1994 et 1997. Par la suite, nous considérons diverses variables figurant dans l'enquête C.O.I. relevant notamment de la stratégie ou de l'organisation des entreprises comptables. Nous considérons également des variables issues des E.A.E. 1994 et 1997, telles que la taille des entreprises en 1994, l'évolution de leur investissement ou de leur situation financière entre 1994 et 1997.

De nouveau, nous nous appuyons sur les coefficients de corrélation et sur les tests de Student pour déterminer en première analyse si ces différentes variables ont un lien avec l'évolution de la taille ou de l'informatisation des entreprises comptables. Nous verrons d'abord quelles sont les variables susceptibles d'être liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Nous verrons ensuite quelles sont les variables susceptibles d'être liées à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

1) Les variables susceptibles d'être liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997

Plusieurs variables sont susceptibles d'être liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Nous envisagerons successivement l'importance de la croissance externe dans la stratégie des entreprises (CROIS), l'évolution du nombre de fonctions administratives entre 1994 et 1997 (DNBSF), la classe de taille des entreprises en 1994 (CLSA), l'appartenance ou non à un réseau organisé autour de liens en capital (CAPI2), l'existence ou non d'une contrainte sur l'organisation liée aux exigences du réseau (ORES04), puis l'évolution de l'investissement, des charges financières et de l'excédent brut d'exploitation entre 1994 et 1997 (DIFINV, DIFCF, DIFEBE).

En ce qui concerne la stratégie des entreprises comptables, la question 1 de l'enquête C.O.I. contient une rubrique décrivant l'importance de la croissance externe. A priori, les entreprises pour lesquelles la croissance externe représente une part très importante de leur stratégie croissent plus rapidement que les autres. Les tests de Student infirment cette prédiction : il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse d'une évolution des effectifs comparable pour les deux catégories d'entreprises considérées. De plus, les tests de Student montrent que l'importance de la croissance externe dans la stratégie des entreprises comptables se traduit par un développement plus rapide de leur informatisation.

Le nombre de services fonctionnels est calculé à l'aide de la question 5 de l'enquête C.O.I. qui demande si l'entreprise dispose pour son propre usage d'une personne consacrant au moins un tiers de son temps à diverses fonctions. Selon Greenan (1994), l'existence d'une telle personne permet d'inférer la présence d'un service fonctionnel dans l'entreprise

considérée. La question 5 permet de déterminer le nombre de fonctions administratives en 1997 ainsi que son évolution entre 1994 et 1997. Les tests de Student confirment que les entreprises qui ont fait augmenter le nombre de leurs fonction administratives ont connu une évolution des effectifs plus marquée que les autres. Ces tests montrent aussi que l'augmentation du nombre de fonctions administratives est lié au développement des deux mesures de l'informatisation des entreprises comptables.

L'étude des liens entre la taille et la croissance des entreprises a suscité une importante littérature empirique se fixant pour objectif de vérifier la validité de la loi de Gibrat (1931). Selon cette loi, la croissance des entreprises n'a pas de lien avec sa taille initiale. Les études empiriques conduites dans le domaine de l'industrie aux Etats-Unis montrent que les petites entreprises croissent plus rapidement que les grandes (Evans 1987a, 1987b, Hall 1987, Dunne, Roberts et Samuelson 1989).

Nous considérons que les entreprises comptables sont réparties entre 4 classes de taille correspondant aux quartiles et nous retenons le quartile inférieur comme modalité de référence. L'analyse de la variance montre que les entreprises du premier quartile croissent plus rapidement que celles du deuxième et celles du troisième quartile, mais la différence avec les entreprises du dernier quartile n'est pas significative. Par contre, l'évolution de l'informatisation est d'autant plus forte que la taille des entreprises est importante en 1994.

L'appartenance à un réseau d'entreprises structuré autour de liens en capital et les contraintes que le réseau fait peser sur l'organisation des entreprises comptables peuvent faire obstacle à l'évolution de leurs effectifs. En effet, Cases (1997) considère que les firmes qui font partie d'un réseau ont une taille supérieure à la moyenne. Les tests de Student montrent que ces deux variables font obstacle à l'évolution des effectifs, mais de manière non significative.

Enfin, il existe vraisemblablement un lien entre l'évolution des effectifs et l'évolution des investissements, comme l'ont montré Brynjolfsson, Malone, Gurbaxani et Kambil (1994), puis Wenger (1999). Conformément à l'approche retenue par ces auteurs, nous ne retenons pas les exportations comme variable explicative de la taille des entreprises comptables. En effet, ces entreprises appartiennent au secteur des services où les échanges extérieurs jouent un rôle moins important que dans l'industrie. Les statistiques du commerce extérieur (douanes) issues de la base ALISSE montrent que les exportations et les importations concernent respectivement 42 et 54 entreprises dans les activités comptables.

De plus, nous anticipons un lien positif et significatif entre l'évolution de la taille et celle des charges financière, et un lien positif et significatif avec l'évolution de l'excédent brut d'exploitation. La matrice des corrélations montre que l'évolution de l'investissement,

l'évolution des charges financières et l'évolution de l'excédent brut d'exploitation sont positivement et significativement liées à l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997. L'évolution de l'investissement et de l'EBE sont aussi positivement liées à l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997.

Nous avons vu grâce aux tests de Student et aux coefficients de corrélation que le nombre de services administratifs, la classe de taille en 1994 et les trois variables financières sont significativement liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. De plus, nous avons remarqué que le nombre de services administratifs et la classe de taille en 1994 sont significativement liées à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997. A présent, nous allons voir quelles sont les variables susceptibles d'être liées à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

2) Les variables susceptibles d'être liées à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997

Dans l'optique d'un test ultérieur de l'endogénéité de l'informatisation, nous essayons de déterminer si certaines variables peuvent affecter l'informatisation des entreprises comptables sans avoir de lien avec l'évolution de leurs effectifs. Cases et Rouquette (1999, 2000) estiment que l'appartenance des entreprises comptables à un réseau favorise leur informatisation. La question 2 de l'enquête C.O.I. traite de l'appartenance des entreprises comptables à un réseau en capital, à un réseau fondé sur la mise en commun des ressources, à un réseau fondé sur la spécialisation et enfin à un réseau ouvert à l'international. De plus, la question 4 de l'enquête C.O.I. mentionne les contraintes exercées par l'appartenance à un réseau sur l'informatisation des entreprises comptables (IRESO4).

Nous avons vu auparavant que l'appartenance à un réseau en capital (CAPI2) ne favorise pas significativement l'évolution des effectifs ou celle de l'informatisation entre 1994 et 1997. Au contraire, les tests de Student montrent que le fait d'être membre d'un réseau orienté vers la mise en commun des moyens (COMMU2) favorise le développement de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Le même résultat est obtenu quand les tests de Student sont appliqués aux réseaux organisés à l'échelon international (INTER2), mais pas quand ils sont appliqués aux réseaux organisés autour d'une spécialisation géographique ou sectorielle (SPECI2). Les tests de Student montrent également que les contraintes exercées par le réseau (IRESO4) favorisent le développement de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Les variables relatives à l'importance de l'amélioration de la qualité et de la surveillance des coûts dans la stratégie des firmes peuvent avoir un lien avec l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Nous supposons que la grande importance de la stratégie d'amélioration de la qualité favorise l'informatisation alors que la grande importance de la surveillance des coûts joue en défaveur de l'informatisation. Les tests de Student montrent que l'amélioration de la qualité ne contribue pas significativement à l'évolution de l'informatisation, mais confirment la seconde prédiction.

Enfin, les contraintes associées à la réglementation administrative (IADMI4) ou à la réglementation professionnelle (IPROF4) peuvent favoriser l'informatisation des entreprises comptables. Néanmoins, les tests de Student montrent que ces deux contraintes n'impliquent pas de différence significative quant à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Nous avons vu grâce aux tests de Student que l'appartenance à un réseau organisé vers la mise en commun de moyens (COMMU2) ou orienté à l'échelon international (INTER2) sont significativement liées à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Il en va de même pour les exigences du réseau en matière d'informatisation (IRESO4) et pour l'importance de la stratégie de surveillance des coûts (SURV), bien que cette dernière variable joue en défaveur de l'informatisation. Les différentes variables considérées ci-dessus sont susceptibles de constituer de bons instruments dans l'optique d'un test de l'endogénéité de l'informatisation dans la mesure où aucune d'entre elles n'a de lien avec l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Lors de cette deuxième section, nous avons utilisé plusieurs variables pour étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. D'abord, nous avons procédé à une première analyse des liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Ensuite, nous avons montré que d'autres variables peuvent être liées à l'évolution de la taille ou à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Jusqu'à présent, les liens entre les variables ont été étudiés avec des tests de Student ou des coefficients de corrélation. Nous avons donc considéré séparément les différentes variables pouvant avoir un lien avec l'évolution de l'informatisation ou avec l'évolution des effectifs. A présent, nous allons considérer simultanément ces différentes variables dans le cadre d'une série de régressions pour déterminer si l'évolution de l'informatisation et de l'environnement sont liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

III) L'évolution de l'informatisation et de l'environnement sont-elles liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997 ?

La section précédente a considéré séparément plusieurs variables explicatives de l'évolution de la taille et de l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables. Lors de cette section, nous considérons simultanément l'effet de ces différentes variables sur l'évolution de la taille et sur l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. Nous procédons à une série de régressions en utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) pour tester empiriquement les prédictions issues du modèle présenté lors de la deuxième partie. Selon nous, tant que l'augmentation de la capacité de traitement des agents ne dépasse pas un certain seuil, l'informatisation n'affecte pas la taille des activités administratives.

De même, tant que l'augmentation de la quantité des données à traiter ne dépasse pas un certain seuil, l'environnement n'affecte pas la taille des activités administratives. Par contre, l'environnement suscite l'informatisation afin de maintenir le délai à son niveau initial. Nous étudierons dans un premier temps les liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille en faisant abstraction de l'environnement des entreprises comptables. Nous étudierons dans un deuxième temps les liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille en tenant compte de l'environnement de ces entreprises.

A- Une étude des liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille faisant abstraction de l'environnement des entreprises comptables

Nous commençons par étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille des entreprises comptables en faisant abstraction de leur environnement. Notre objectif est de vérifier la première prédiction issue de notre modèle : tant que l'augmentation de la capacité de traitement des agents ne dépasse pas un certain seuil, l'informatisation n'affecte pas la taille des activités administratives. Pour ce faire, nous considérons successivement deux régressions où figurent séparément les deux mesures de l'évolution de l'informatisation.

De plus, nous examinons l'hypothèse d'endogénéité de ces deux variables d'informatisation en les expliquant par des variables ne figurant pas dans les deux régressions précédente. Nous verrons dans un premier temps que les deux mesures de l'évolution de l'informatisation n'ont pas de lien avec l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Nous verrons dans un deuxième temps que l'appartenance à un réseau d'entreprises favorise l'informatisation, mais que celle-ci n'est pas une variable endogène.

1) *Les deux mesures de l'évolution de l'informatisation n'ont pas de lien avec l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997*

Le tableau ci-dessous considère les liens entre l'informatisation et la taille des entreprises comptables en l'absence des variables relatives à l'environnement de ces entreprises. Les deux régressions qui figurent dans ce tableau diffèrent de par la variable d'informatisation retenue. AXE1 est la variable synthétique issue de l'ACM intégrant les variables qualitatives décrivant l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. DTI1 est la variable synthétique issue de la différence du premier axe des ACM conduites respectivement à partir des variables qualitatives décrivant l'informatisation en 1997 et en 1994.

Les deux régressions envisagées sont les suivantes :

$$EFSA = AXE1 + CLSA + DIFINV + DIFCF + DIFEBE + DNBSF + CROIS + CAPI2 + ORESO4$$

$$EFSA = DTI1 + CLSA + DIFINV + DIFCF + DIFEBE + DNBSF + CROIS + CAPI2 + ORESO4$$

EFSA	Axe1		Dti1	
TI	1.948908	(1.271715)	1.90548	(1.385972)
Clsa (mod2)	- 3.359296***	(1.056358)	- 3.184904***	(1.05137)
Clsa (mod3)	- 4.145653***	(1.268793)	- 4.064654***	(1.274385)
Clsa (mod4)	- 2.0894	(1.868685)	- 1.858529	(1.87076)
difinv	4.40 e-06***	(1.26 e-06)	4.42 e-06***	(1.25 e-06)
difcf	4.73 e-06**	(2.03 e-06)	4.53 e-06**	(2.05 e-06)
difebe	1.05 e-06**	(4.58 e-07)	1.05 e-06**	(4.57 e-07)
dnbsf (mod1)	1.330591	(1.223166)	1.415595	(1.258277)
Crois (mod345)	- 2.767484	(1.858429)	- 2.795859	(1.86929)
Capi2	- 1.797104	(1.244591)	- 1.888031	(1.248283)
Oreso4	- 0.9336964	(1.656308)	- 0.8466728	(1.612392)
constante	9.271003***	(2.242564)	9.018594***	(2.272194)
N	321		321	
R ²	0.2639		0.2639	
R ² ajusté	0.2377		0.2377	

Tableau 6.3 : Résultats des régressions relatives aux liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille des entreprises comptables, abstraction faite de l'environnement

Lecture : *** coefficient significatif au seuil de 1%

** coefficient significatif au seuil de 5%

* coefficient significatif au seuil de 10%

N.B. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart type après correction des hétéroscédasticités

La variable expliquée (EFSA) est l'évolution des effectifs entre 1994 et 1997. Les variables explicatives sont la classe de taille en 1994 (CLSA, où la modalité de référence est le premier

quartile), l'évolution de l'investissement, des charges financières et de l'excédent brut d'exploitation entre 1994 et 1997 (respectivement DIFINV, DIFCF et DIFEBE), l'évolution du nombre de fonctions administratives entre 1994 et 1997 (DNBSF, où la modalité de référence est l'absence d'évolution du nombre des fonctions), l'importance de la croissance externe dans la stratégie des entreprises (CROIS, où la modalité de référence est « très importante »), l'appartenance à un réseau en capital (CAPI2) et le fait que les exigences du groupe ou du réseau constituent une contrainte en matière d'organisation (ORESO4).

Les résultats du tableau 6.3 sont obtenus après correction des hétéroscédasticités. Le test de Ramsay ne permet pas de rejeter l'hypothèse de l'absence de variables manquantes. Les résultats donnés par les deux régressions sont semblables, qu'il s'agisse du signe des coefficients ou du caractère significatif ou non du lien avec l'évolution des effectifs.

L'évolution des effectifs des entreprises appartenant au deuxième et au troisième quartile des effectifs en 1994 est significativement moins forte que celle des entreprises du premier quartile. Néanmoins, la différence dans l'évolution des effectifs n'est pas significative quand on compare les entreprises du premier et du quatrième quartile. De plus, le lien entre l'évolution des effectifs et l'évolution de l'investissement est positif et significatif. Il en va de même pour les liens entre l'évolution des effectifs et celle des charges financière, puis celle de l'excédent brut d'exploitation.

Les variables relatives à la stratégie ou à l'organisation des entreprises comptables n'ont pas de lien avec l'évolution de leurs effectifs entre 1994 et 1997. Ainsi, les entreprises où la croissance externe joue un rôle très important n'ont pas une évolution des effectifs significativement différente des entreprises où la croissance externe a moins d'importance dans la stratégie. Les entreprises qui ont vu augmenter le nombre de leurs fonctions administratives n'ont pas une évolution des effectifs significativement différente des entreprises qui ont maintenu à l'identique le nombre de ces fonctions. L'appartenance à un réseau en capital n'a pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution des effectifs, de même que les exigences du groupe ou du réseau.

Enfin, l'évolution de l'informatisation n'a pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Ce résultat est conforme à la première prédiction de notre modèle présenté lors de la partie précédente. Nous y avons montré que l'augmentation de la capacité de traitement des agents doit dépasser un certain seuil pour affecter la taille des activités administratives.

L'informatisation des entreprises comptables peut être affectée par des variables ne figurant pas dans les deux régressions ci-dessus. Ainsi, Cases et Rouquette (1999, 2000) considèrent

que l'appartenance à un réseau d'entreprises constitue un facteur favorable pour l'informatisation des entreprises comptables. Quand les variables qui ont un lien avec l'évolution de l'informatisation n'ont pas de lien avec l'évolution des effectifs, elles peuvent être utilisées comme instruments pour déterminer si l'informatisation est une variable endogène. Nous allons voir que l'appartenance à un réseau d'entreprises favorise l'informatisation, mais celle-ci n'est pas une variable endogène.

2) L'appartenance à un réseau d'entreprises favorise l'informatisation, mais celle-ci n'est pas une variable endogène

Cases et Rouquette (1999, 2000) voient la participation à un réseau d'entreprises comme un facteur favorable à l'informatisation des entreprises comptables. Or, la question 2 de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » interroge les dirigeants des entreprises comptables quant à leur appartenance à un réseau structuré autour de liens en capital (CAPI2), à un réseau orienté vers la mise en commun des ressources (COMMU2), à un réseau orienté autour d'une spécialisation géographique ou sectorielle (SPECI2), ou à un réseau organisé à l'échelon international (INTER2). De plus, la question 4 de la même enquête traite des contraintes éventuelles quant aux choix des entreprises en matière d'informatisation entre 1994 et 1997 associées aux exigences du groupe ou des réseaux (IRESO4).

D'autres variables peuvent aussi contribuer à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Ainsi, les exigences de la réglementation administrative (IADMI4) ou de la réglementation professionnelle (IPROF4) peuvent contraindre les choix d'informatisation des entreprises comptables. Enfin, l'importance de l'amélioration de la qualité des services dans la stratégie des entreprises comptables (QLI) et l'importance de la surveillance des coûts (COUT) dans cette stratégie peuvent aussi influencer l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Les deux régressions envisagées sont les suivantes :

$$\text{AXE1} = \text{QLI} + \text{COUT} + \text{IADM4} + \text{IPROF4} + \text{IRESO4} + \text{COMMU2} + \text{SPECI2} + \text{INTER2} + \text{CLSA} + \text{DIFINV} + \text{DIFCF} + \text{DIFEBE} + \text{DNBSF} + \text{CROIS} + \text{CAPI2} + \text{ORES04}$$

$$\text{DTI1} = \text{QLI} + \text{COUT} + \text{IADM4} + \text{IPROF4} + \text{IRESO4} + \text{COMMU2} + \text{SPECI2} + \text{INTER2} + \text{CLSA} + \text{DIFINV} + \text{DIFCF} + \text{DIFEBE} + \text{DNBSF} + \text{CROIS} + \text{CAPI2} + \text{ORES04}$$

Ces régressions retiennent également les variables explicatives de l'évolution des effectifs des entreprises comptables considérées dans les deux régressions précédente afin de déterminer si l'informatisation est une variable endogène.

Le tableau ci-dessous considère les liens entre l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables et les variables explicatives énumérées ci-dessus en l'absence des variables relatives à l'environnement de ces entreprises. Les résultats sont obtenus après correction des hétéroscédasticités. Le test de Ramsay ne permet pas de rejeter l'hypothèse de l'absence de variables manquantes.

TI	AXE1		DTI1	
QLI (mod6)	0.1097201**	(0.0524147)	0.0445021	(0.0546616)
Coût (mod6)	- 0.1449408***	(0.0510901)	- 0.1837013***	(0.0513373)
Iadm4	0.0100001	(0.0601154)	0.0119669	(0.0599719)
Iprof4	0.0382758	(0.070515)	- 0.052943	(0.071744)
Ireso4	0.2584407**	(0.1051814)	0.2039608	(0.1265409)
Commu2	0.0749923	(0.0576082)	0.1203177*	(0.0644301)
Speci2	- 0.1137283*	(0.0605272)	- 0.147224**	(0.0649664)
Inter2	0.2325471***	(0.0742179)	0.1835688**	(0.0774323)
Clsa (mod2)	- 0.0084237	(0.0772636)	- 0.0986832	(0.0770177)
Clsa (mod3)	0.0281124	(0.0719316)	- 0.020249	(0.0728551)
Clsa (mod4)	0.2149763**	(0.0842654)	0.0891603	(0.0853316)
difinv	3.82 e-08	(3.35 e-08)	2.48 e-08	(3.29 e-08)
Difcf	- 8.68 e-08	(6.75 e-08)	3.87 e-08	(7.51 e-08)
difebe	2.40 e-08	(1.52 e-08)	1.19 e-08	(1.36 e-08)
dnbsf (mod1)	0.206148***	(0.0779514)	0.1639819**	(0.0805541)
Crois (mod345)	- 0.1726189	(0.1121031)	- 0.1616938	(0.1113145)
Capi2	- 0.0268659	(0.0760789)	0.0357194	(0.0784881)
Oreso4	- 0.0761284	(0.0858404)	- 0.1027026	(0.1066045)
constante	- 0.1278583	(0.1463971)	0.0892482	(0.1463927)
N	301		301	
R ²	0.2429		0.1935	
R ² ajusté	0.1946		0.1421	

Tableau 6.4 : Résultats des régressions relatives aux variables explicatives de l'informatisation des entreprises comptables, abstraction faite de l'environnement

Lecture : *** coefficient significatif au seuil de 1%

** coefficient significatif au seuil de 5%

* coefficient significatif au seuil de 10%

N.B. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart type après correction des hétéroscédasticités

Conformément aux prédictions de Cases et Rouquette (1999, 2000), le fait d'appartenir à un réseau d'entreprises favorise l'informatisation des entreprises comptables. Pour la variable AXE1, les exigences du groupe sont un facteur favorable à l'informatisation (coefficient positif et significatif au seuil de 5% pour IRESO4), de même que l'orientation du réseau à l'échelle internationale (coefficient positif et significatif au seuil de 1% pour INTER2). Pour la variable DTI1, la mise en commun des ressources favorise l'informatisation (coefficient

positif et significatif au seuil de 10% pour COMMU2), de même que l'orientation du réseau à l'échelle internationale (coefficient positif et significatif au seuil de 5% pour INTER2).

Néanmoins, l'organisation du réseau autour de la spécialisation géographique ou sectorielle fait obstacle à l'informatisation. En effet, pour la variable AXE1, le coefficient associé à SPECI2 est négatif et significatif au seuil de 10%. De même, pour la variable DTI1, le coefficient associé à SPECI2 est négatif et significatif au seuil de 5%.

Les exigences de la réglementation administrative et celles de la réglementation professionnelle ne jouent pas en faveur de l'informatisation (coefficients positifs, mais non significatifs pour IPROF4 et IADMI4). Néanmoins, la variable AXE1 est affectée par l'importance de la surveillance des coûts et de l'amélioration de la qualité des prestations dans la stratégie des entreprises comptables. Le coefficient associé à QLI est positif et significatif au seuil de 5%. Le coefficient associé à COUT est négatif et significatif au seuil de 1%. De même, pour la variable DTI1, le coefficient associé à COUT est négatif et significatif au seuil de 1%.

Enfin, remarquons que l'une des variables censées expliquer l'évolution de la taille contribue à l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. Le coefficient de DNBSF (évolution du nombre de fonctions administratives entre 1994 et 1997) est positif et significatif pour les deux variables d'informatisation, respectivement au seuil de 1% et de 5%.

Nous avons vu que l'appartenance aux réseaux, la stratégie d'amélioration de la qualité et la stratégie de surveillance des coûts ont un lien avec l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. Si ces variables sont liées à l'évolution de l'informatisation sans l'être à l'évolution des effectifs, elles peuvent servir d'instruments pour tester l'éventuelle endogénéité des deux variables d'informatisation. Dans le cadre de la méthode des doubles moindres carrés (DMC), les tests de suridentification (Sargan, Basman) montrent que les instruments sont valides. Pourtant, les tests d'endogénéité (Wu et Hausman, Durbin, Wu et Hausman) montrent qu'il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse d'exogénéité de l'informatisation.

Ainsi, plusieurs variables favorisent l'informatisation (en particulier l'appartenance à un réseau d'entreprises), mais celle-ci n'est pas une variable endogène. L'évolution de l'informatisation n'a donc pas de lien avec l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Il reste à déterminer si la prise en compte des variables décrivant l'environnement des entreprises comptables modifie ces résultats. Pour ce faire, nous allons procéder à une étude des liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille tenant compte de l'environnement des entreprises comptables.

B- Une étude des liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille tenant compte de l'environnement des entreprises comptables

Après avoir étudié les liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille des entreprises comptables en faisant abstraction de leur environnement, nous considérons ces liens en tenant compte de l'environnement de ces entreprises. A présent, nous intégrons dans les régressions les trois variables décrivant l'environnement des entreprises comptables : les fluctuations prévues ou imprévues de la demande et l'incertitude sur les marchés.

L'objectif de cette étude empirique est de vérifier les prédictions issues de notre modèle. D'une part, tant que l'augmentation de la capacité de traitement des agents ne dépasse pas un certain seuil, l'informatisation n'affecte pas la taille des activités administratives. D'autre part, tant que l'augmentation de la quantité des données à traiter ne dépasse pas un certain seuil, l'environnement n'affecte pas la taille des activités administratives. Par contre, l'environnement suscite l'informatisation afin de maintenir le délai à son niveau initial.

Nous verrons dans un premier temps que l'évolution de l'informatisation n'a pas de lien avec l'évolution des effectifs alors que l'incertitude sur les marchés favorise leur diminution. Nous verrons dans un deuxième temps que l'appartenance à un réseau d'entreprises et les fluctuations de la demande favorisent l'informatisation, mais que celle-ci n'est pas une variable endogène.

1) *L'évolution de l'informatisation n'a pas de lien avec l'évolution des effectifs entre 1994 et 1997 alors que l'incertitude sur les marchés favorise leur diminution*

Le tableau ci-dessous considère les liens entre l'informatisation et la taille des entreprises comptables en présence des variables relatives à l'environnement de ces entreprises. De nouveau, les deux régressions qui figurent dans ce tableau diffèrent de par la variable d'informatisation retenue (AXE1 et DTI1). Les régressions envisagées sont les suivantes :

$$EFSA = AXE1 + CLSA + DIFINV + DIFCF + DIFEBE + DNBSF + CROIS + CAPI2 + ORESO4 + ATTEN10 + ALEA10 + OMARCH4$$

$$EFSA = DTI1 + CLSA + DIFINV + DIFCF + DIFEBE + DNBSF + CROIS + CAPI2 + ORESO4 + ATTEN10 + ALEA10 + OMARCH4$$

EFSA	Axe1		Dti1	
TI	1.995509	(1.395548)	1.847548	(1.472753)
Clssa (mod2)	- 3.58383***	(1.106366)	- 3.400785***	(1.096772)
Clssa (mod3)	- 4.428277***	(1.303917)	- 4.356083***	(1.302982)
Clssa (mod4)	- 2.176025	(1.883228)	- 1.939079	(1.872857)
difinv	4.19 e-06***	(1.32 e-06)	4.21 e-06***	(1.31 e-06)
difcf	4.44 e-06**	(2.00 e-06)	4.22 e-06**	(2.01 e-06)
difebe	1.03 e-06**	(4.54 e-07)	1.04 e-06**	(4.53 e-07)
dnbsf (mod1)	1.289757	(1.227214)	1.391852	(1.254675)
Crois (mod345)	- 2.612096	(1.900389)	- 2.616107	(1.91614)
Capi2	- 2.214643*	(1.323436)	- 2.276563*	(1.325377)
Oreso4	- 0.9024653	(1.717465)	- 0.840395	(1.691966)
Atten10	0.4471139	(0.9126778)	0.533766	(0.9307679)
Alea10	0.3607897	(1.195859)	0.3568629	(1.175365)
Omarch4	- 2.303597**	(1.136091)	- 2.327727**	(1.130464)
constante	9.732311***	(2.473686)	9.387929***	(2.503036)
N	306		306	
R ²	0.2805		0.2802	
R ² ajusté	0.2459		0.2455	

Tableau 6.5 : Résultats des régressions relatives aux liens entre l'évolution de l'informatisation, l'évolution de l'environnement et l'évolution de la taille des entreprises comptables

Lecture : *** coefficient significatif au seuil de 1%

** coefficient significatif au seuil de 5%

* coefficient significatif au seuil de 10%

N.B. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart type après correction des hétéroscédasticités

Dans ces deux régressions, trois nouvelles variables explicatives de l'évolution des effectifs entre 1994 et 1997 sont considérées. Ces trois variables décrivent diverses dimensions de l'environnement des entreprises comptables : les fluctuations prévues ou imprévues de la

demande (respectivement ATTEN10 et ALEA10) ou l'incertitude sur les marchés entre 1994 et 1997 (OMARCH4).

Les résultats du tableau 6.5 sont obtenus après correction des hétéroscédasticités. Le test de Ramsay ne permet pas de rejeter l'hypothèse de l'absence de variables manquantes. Les résultats donnés par les deux régressions sont semblables, qu'il s'agisse du signe des coefficients ou du caractère significatif ou non du lien avec l'évolution des effectifs.

L'évolution des effectifs des entreprises appartenant au deuxième et au troisième quartile des effectifs en 1994 est significativement moins forte que celle des entreprises du premier quartile. Néanmoins, la différence dans l'évolution des effectifs n'est pas significative quand on compare les entreprises du premier et du quatrième quartile. Le lien entre l'évolution des effectifs et l'évolution de l'investissement est positif et significatif. Il en va de même pour les liens entre l'évolution des effectifs et celle des charges financière, puis celle de l'excédent brut d'exploitation.

Les variables relatives à la stratégie ou à l'organisation des entreprises comptables n'ont pas de lien avec l'évolution de leurs effectifs entre 1994 et 1997. Ainsi, les entreprises où la croissance externe joue un rôle très important n'ont pas une évolution des effectifs significativement différente des entreprises où la croissance externe a moins d'importance dans la stratégie. Les entreprises qui ont vu augmenter le nombre de leurs fonctions administratives n'ont pas une évolution des effectifs significativement différente des entreprises qui ont maintenu à l'identique le nombre de ces fonctions. Les exigences du groupe ou du réseau n'ont pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution des effectifs. Néanmoins, l'appartenance à un réseau en capital implique une évolution moins marquée des effectifs entre 1994 et 1997 (coefficient négatif et significatif au seuil de 10%).

En ce qui concerne l'environnement des entreprises, il apparaît que les fluctuations prévues ou imprévues de la demande n'ont pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution des effectifs. Au contraire, l'incertitude sur les marchés est liée de manière négative à l'évolution des effectifs entre 1994 et 1997 (coefficient négatif et significatif au seuil de 5%). Enfin, l'évolution de l'informatisation n'a pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Ces résultats sont en partie conformes aux prédictions de notre modèle présenté lors de la partie précédente. D'une part, l'augmentation de la capacité de traitement des agents doit dépasser un certain seuil pour affecter la taille des activités administratives. D'autre part, l'augmentation de la quantité des données à traiter doit franchir un certain seuil pour impliquer le recrutement de nouveaux agents. L'absence de lien statistiquement significatif

entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille, puis entre les fluctuations de la demande et l'évolution de la taille sont compatibles avec ces prédictions.

Le lien négatif entre l'incertitude sur les marchés et l'évolution des effectifs entre 1994 et 1997 est conforme aux prédictions des modèles s'inspirant de la théorie des équipes où la volatilité fait diminuer la taille optimale des activités administratives. Ce résultat peut être considéré comme compatible avec notre modèle dans la mesure où l'incertitude de l'environnement implique la diminution du nombre de données à traiter, comme le supposent Meagher, Orbay et Van Zandt (2004). Dans ce cas, il est possible d'envisager dans le cadre de notre modèle une diminution du nombre des agents compatible avec le maintien du délai à son niveau initial.

D'après les modèles s'inspirant de la théorie des équipes, l'environnement des entreprises fait évoluer la taille optimale des activités administratives. Ces modèles ne considèrent pas les liens entre l'environnement et l'informatisation, bien que Van Zandt et Radner (2001) estiment que l'incertitude de l'environnement peut favoriser l'informatisation pour gagner en réactivité. D'après notre modèle, l'augmentation de la quantité des données à traiter fait augmenter le délai et suscite l'informatisation pour maintenir le délai à son niveau initial.

Il convient donc d'étudier les liens entre l'environnement et l'informatisation des entreprises comptables et d'envisager de nouveau l'hypothèse de l'endogénéité de chaque variable d'informatisation. Nous allons voir que l'appartenance à un réseau d'entreprises et les fluctuations de la demande favorisent l'informatisation, mais que celle-ci n'est pas une variable endogène.

2) L'appartenance à un réseau d'entreprises et les fluctuations de la demande favorisent l'informatisation, mais celle-ci n'est pas une variable endogène

En l'absence des variables décrivant l'environnement des entreprises comptables, nous avons vu que l'appartenance à un réseau d'entreprises ou la stratégie de surveillance des coûts sont significativement liées à l'évolution de l'informatisation de ces entreprises. Pourtant, il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse d'exogénéité de l'informatisation. A présent, l'environnement des entreprises comptables est considéré comme un facteur explicatif de l'évolution de leur informatisation. Il s'agit donc de procéder à la vérification de la validité des instruments et au test d'endogénéité de l'informatisation. De plus, l'objectif est de vérifier si les fluctuations prévues ou imprévues de la demande (ATTEN10, ALEA10) et l'incertitude sur les marchés (OMARCH4) ont un lien avec l'évolution de l'informatisation.

Les deux régressions envisagées sont les suivantes :

$$\text{AXE1} = \text{QLI} + \text{COUT} + \text{IADM4} + \text{IPROF4} + \text{IRESO4} + \text{COMMU2} + \text{SPECI2} + \text{INTER2} + \text{CLSA} + \text{DIFINV} + \text{DIFCF} + \text{DIFEBE} + \text{DNBSF} + \text{CROIS} + \text{CAPI2} + \text{ORESO4} + \text{ATTEN10} + \text{ALEA10} + \text{OMARCH4}$$

$$\text{DTI1} = \text{QLI} + \text{COUT} + \text{IADM4} + \text{IPROF4} + \text{IRESO4} + \text{COMMU2} + \text{SPECI2} + \text{INTER2} + \text{CLSA} + \text{DIFINV} + \text{DIFCF} + \text{DIFEBE} + \text{DNBSF} + \text{CROIS} + \text{CAPI2} + \text{ORESO4} + \text{ATTEN10} + \text{ALEA10} + \text{OMARCH4}$$

TI	AXE1		DTI1	
QLI (mod6)	0.0819364	(0.0532279)	0.0145623	(0.056401)
Coût (mod6)	- 0.1487608***	(0.051673)	- 0.1820879***	(0.0540126)
Iadm4	0.0070788	(0.0608505)	0.0236974	(0.063173)
Iprof4	0.0448907	(0.0689211)	- 0.0663567	(0.0735646)
Ireso4	0.2415401**	(0.1024433)	0.2109242*	(0.127551)
Commu2	0.068871	(0.0596536)	0.12421*	(0.0672568)
Speci2	- 0.1590593***	(0.0589704)	- 0.1893822***	(0.0664271)
Inter2	0.1962722**	(0.0778553)	0.1436993*	(0.0813843)
Clsa (mod2)	- 0.0310018	(0.0753098)	- 0.1428198*	(0.0737635)
Clsa (mod3)	- 0.0180411	(0.069405)	- 0.0740308	(0.0698433)
Clsa (mod4)	0.1949098**	(0.0804702)	0.0592307	(0.0824884)
difinv	3.70 e-08	(3.35 e-08)	2.41 e-08	(3.36 e-08)
Difcf	- 1.02 e-07	(6.68 e-08)	2.85 e-08	(7.11 e-08)
difebe	2.08 e-08	(1.49 e-08)	9.12 e-09	(1.36 e-08)
dnbsf (mod1)	0.2029893***	(0.0759865)	0.180299**	(0.0780598)
Crois (mod345)	- 0.1429339	(0.1075977)	- 0.1561214	(0.1131595)
Capi2	0.009265	(0.0753779)	0.0567226	(0.0786588)
Oreso4	- 0.1123	(0.0848912)	- 0.1381294	(0.1063849)
Atten10	0.0984301*	(0.0556842)	0.0438223	(0.0584211)
Alea10	0.0963349*	(0.0573052)	0.1210261**	(0.0595381)
Omarch4	0.0046282	(0.0519156)	0.0318551	(0.054253)
constante	- 0.209383	(0.1444419)	0.0395916	(0.145081)
N	289		289	
R ²	0.2625		0.2182	
R ² ajusté	0.2045		0.1567	

Tableau 6.6 : Résultats des régressions relatives aux variables explicatives de l'informatisation des entreprises comptables, environnement compris

Lecture : *** coefficient significatif au seuil de 1%

** coefficient significatif au seuil de 5%

* coefficient significatif au seuil de 10%

N.B. Les chiffres entre parenthèses indiquent l'écart type après correction des hétéroscédasticités

De nouveau, le fait d'appartenir à un réseau d'entreprises favorise l'informatisation des entreprises comptables. Pour la variable AXE1, les exigences du groupe sont un facteur

favorable à l'informatisation (coefficient positif et significatif au seuil de 5% pour IRESO4), de même que l'orientation du réseau à l'échelle internationale (coefficient positif et significatif au seuil de 5% pour INTER2). Pour la variable DTI1, la mise en commun des ressources favorise l'informatisation (coefficient positif et significatif au seuil de 10% pour COMMU2), de même que l'orientation du réseau à l'échelle internationale (coefficient positif et significatif au seuil de 10% pour INTER2).

Néanmoins, l'organisation du réseau autour de la spécialisation géographique ou sectorielle fait obstacle à l'informatisation. En effet, pour la variable AXE1, le coefficient associé à SPECI2 est négatif et significatif au seuil de 1%. De même, pour la variable DTI1, le coefficient associé à SPECI2 est négatif et significatif au seuil de 1%.

Les exigences de la réglementation administrative et celles de la réglementation professionnelle ne jouent toujours pas en faveur de l'informatisation (coefficients positifs, mais non significatifs pour IPROF4 et IADMI4). La variable AXE1 est de nouveau affectée par l'importance de la surveillance des coûts dans la stratégie des entreprises comptables. Le coefficient associé à COUT est négatif et significatif au seuil de 1%. De même, pour la variable DTI1, le coefficient associé à COUT est négatif et significatif au seuil de 1%.

De plus, l'évolution du nombre de fonctions administratives entre 1994 et 1997 contribue à l'augmentation de l'informatisation entre 1994 et 1997. Le coefficient de DNBSF est positif et significatif pour les deux variables d'informatisation, respectivement au seuil de 1% et de 5%. Enfin, certaines des variables décrivant l'environnement des entreprises comptables sont liées à l'évolution de leur informatisation. Pour la variable AXE1, le coefficient associé à ATTEN10 et à ALEA10 est positif et significatif au seuil de 10%. Pour la variable DTI1, le coefficient associé aux fluctuations imprévues de la demande (ALEA10) est positif et significatif au seuil de 5%. L'incertitude sur les marchés n'a pas de lien avec l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997.

L'appartenance aux réseaux et la stratégie de surveillance des coûts ont un lien avec l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. De nouveau, les tests de suridentification (Sargan, Basman) pratiqués dans le cadre de la méthode des doubles moindres carrés (DMC) montrent que ces variables sont des instruments valides. Pourtant, les tests d'endogénéité (Wu et Hausman, Durbin, Wu et Hausman) confirment qu'il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse d'exogénéité de l'informatisation.

Les résultats obtenus en l'absence et en présence des variables décrivant l'environnement des entreprises comptables sont donc identiques. Premièrement, l'appartenance aux réseaux et la stratégie de surveillance des coûts ont un lien avec l'évolution de l'informatisation entre 1994

et 1997. Deuxièmement, l'informatisation n'est pas une variable endogène. Troisièmement, l'évolution de l'informatisation n'a pas de lien avec l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Enfin, les fluctuations prévisibles de la demande favorisent l'augmentation de l'informatisation entre 1994 et 1997.

Ces derniers résultats sont conformes aux prédictions de notre modèle quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives qui ont été exposées lors de la deuxième partie. D'une part, nous avons considéré que la taille des activités administratives n'évolue pas tant que l'amélioration de la capacité de traitement des agents ne dépasse pas un certain seuil. D'autre part, nous avons montré que l'augmentation de la quantité des données à traiter fait augmenter le délai qui est maintenu à son niveau initial grâce à l'informatisation.

CONCLUSION DU CHAPITRE 6

Lors de ce chapitre, nous avons procédé à une étude empirique des liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises en utilisant les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » relative aux activités comptables. L'objectif de cette étude est de vérifier les prédictions théoriques relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives présentées lors des deux premières parties. En effet, nous avons vu lors du chapitre 5 que les études empiriques qui envisagent l'effet de l'informatisation sur la taille des entreprises se fondent sur la théorie des contrats incomplets sans faire mention des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes.

La première section de ce chapitre a montré que les entreprises comptables appartiennent à une activité de main-d'œuvre où la composante administrative est particulièrement marquée et qu'elles sont fortement informatisées. Ces entreprises constituent donc un champ d'investigation adéquat pour vérifier les prédictions relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives. La deuxième section détaille les variables utilisées pour étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. La troisième section détermine si l'évolution de l'informatisation et de l'environnement sont liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997.

Les régressions avec ou sans les variables d'environnement montrent que l'évolution de l'informatisation n'a pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. De plus, les fluctuations prévues et imprévues de la demande n'ont pas de lien avec l'évolution de la taille des entreprises comptables, mais elles sont liées à l'évolution de leur informatisation. Enfin, l'informatisation est affectée par plusieurs variables qui sont des instruments valides, mais elle n'est pas une variable endogène.

La conclusion de la troisième partie compare ces résultats aux prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes et aux prédictions issues de notre modèle exposé lors de la deuxième partie.

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

La première partie de cette thèse a présenté l'analyse économique des activités administratives envisagée par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Ces modèles considèrent les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives d'un point de vue particulier et offrent des prédictions contradictoires, voire ambiguës quant aux conséquences de l'informatisation sur la taille des activités administratives. La deuxième partie de cette thèse a présenté de nouveaux aspects dans l'analyse économique des activités administratives qui n'ont pas été envisagés par les modèles considérés lors de la première partie. Ces nouveaux aspects nous ont conduit à formuler des prédictions quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives pouvant faire l'objet d'une vérification empirique.

Lors de cette troisième partie, nous avons étudié les liens entre informatisation et taille des entreprises d'un point de vue empirique. Le chapitre 5 a procédé à une recension des études empiriques associant informatisation, frontières et taille des entreprises. Ces études se fondent sur la théorie des contrats incomplets sans faire mention des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Le chapitre 6 s'est efforcé de vérifier empiriquement les prédictions théoriques relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives présentées lors des deux premières parties. Ce chapitre utilise les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » relatives aux entreprises comptables.

Les résultats obtenus lors de ce dernier chapitre sont plus proches des prédictions issues de notre modèle que des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Premièrement, l'évolution de l'informatisation n'a pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Deuxièmement, les fluctuations prévues et imprévues de la demande n'ont pas de lien avec l'évolution de la taille des entreprises comptables, mais elles sont liées à l'évolution de leur informatisation.

Ces résultats sont compatibles avec ceux de notre modèle. D'une part, la taille évolue quand la capacité de traitement dépasse un certain seuil ou reste stable quand la capacité de traitement n'atteint pas le seuil critique. D'autre part, l'augmentation de la quantité des données à traiter favorise l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents quand l'informatisation ne suffit pas pour maintenir le délai initial.

ANNEXE 1 : LE DISPOSITIF D'ENQUETE SUR LES CHANGEMENTS ORGANISATIONNELS ET L'INFORMATISATION

Enquêter simultanément auprès des employeurs et des salariés

L'enquête présentée ici appartient à un système de cinq enquêtes : un ensemble de quatre enquêtes auprès des entreprises d'une part, et une enquête auprès des salariés d'autre part.

Les enquêtes auprès des entreprises couvrent les secteurs d'activités suivants : industrie manufacturière, industries agroalimentaires, un secteur du commerce de détail (le commerce de détail de bricolage) et les activités comptables. Leur objectif est de clarifier les liens entre informatisation et organisation du travail, et leur impact sur le comportement des entreprises (compétitivité, emploi, investissements) et sur leurs salariés (emplois, qualifications, salaires), en observant non seulement le degré d'informatisation et l'organisation du travail mais aussi les récents changements en la matière.

Pour l'industrie manufacturière et les industries agroalimentaires, le questionnaire privilégie l'organisation interne de la production, les relations entre l'entreprise et ses sous-traitants, et les informations sur la clientèle. Dans le commerce de détail du bricolage, le principal objectif de l'enquête est d'étudier les relations verticales entre fournisseurs et distributeurs. Dans les services, le questionnaire traite de l'organisation et de l'informatisation au sein des firmes mais aussi au sein des réseaux d'entreprises, un mode d'organisation beaucoup plus répandu dans les services que la sous-traitance. Le questionnaire a été envoyé par la poste, comme c'est le cas pour la plupart des enquêtes auprès des entreprises.

L'enquête auprès des salariés utilise le même questionnaire pour tous les secteurs d'activités. Parmi les firmes échantillonnées, on a tiré un échantillon de salariés interrogés par téléphone. On a posé aux salariés des questions sur les caractéristiques de leur emploi en termes d'autonomie de communication, d'utilisation des technologies et de satisfaction au travail. Ces questionnaires ont bénéficié de plusieurs expériences passées : une enquête sur les changements organisationnels dans l'industrie manufacturière (1993) et une enquête sur les techniques et l'organisation du travail (1987, 1993).

Aucune enquête n'avait précédemment cherché à réconcilier les deux approches, du moins en France. L'enquête COI représente donc une innovation de ce point de vue.

Plan et taille d'échantillon

Un plan de sondage à deux degrés a été utilisé. Un échantillon d'environ 10 000 entreprises, dont 1 600 pour les activités comptables, a ainsi été tiré. Ces entreprises ont été interrogées dans le cadre des enquêtes auprès des entreprises.

Un sous-échantillon de 4 000 entreprises parmi les plus grandes des différents secteurs a servi de base de sondage pour échantillonner les salariés interrogés. Entre deux et trois salariés ont été sélectionnés dans chaque firme, grâce aux Déclarations Annuelles de Données Sociales (DADS). Finalement, 9 000 salariés ont été interrogés, dont 1 500 dans les activités comptables. Grâce aux informations contenues dans les DADS, il a été possible d'exclure de l'échantillon les cadres et les intérimaires.

Le taux de réponse à l'enquête auprès des salariés est de 71 %. Le taux de réponse aux enquêtes auprès des entreprises dans les activités comptables est de 79 %.

Une enquête utilisant plusieurs sources d'informations

Dans le cas des activités comptables, il a été possible de collecter l'information de l'*Enquête annuelle d'entreprise* (EAE) pour 1 046 entreprises sur les 1 292 ayant répondu à l'enquête.

Pour les salariés, les DADS contiennent des informations sur le salarié lui-même (âge, sexe, lieu de naissance et de résidence), sur l'établissement dans lequel il ou elle travaille (nombre de salariés, lieu, secteur d'activité) et sur son emploi dans cet établissement (salaires, fonction, heures de travail). L'information a été extraite du fichier complet et non du fichier au 1/25^{ème}. Les DADS ont pu être retrouvées pour 965 entreprises sur les 1 046 ayant répondu à la fois à l'enquête COI et à l'EAE.

Source : Cases et Rouquette (2000)

ANNEXE 2 : PRESENTATION DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES MENEES PAR CASES ET ROUQUETTE (2000)

L'analyse factorielle est une méthode d'analyse descriptive permettant de synthétiser l'information contenue dans un grand nombre de variables. En effet, lorsqu'il y a plus de deux variables, l'étude des corrélations entre variables devient très complexe, et à partir de trois variables, la représentation graphique n'est plus possible. Or, l'analyse des variables deux à deux est insuffisante pour décrire les liens qui existent entre elles, il faut donc des outils d'analyse multidimensionnelle. Ainsi, si on a un échantillon de n individus décrits par p variables, chaque individu est représenté par un point dans un espace à p dimensions, l'espace des individus. Symétriquement chaque variable est représentée par un point dans un espace à n dimensions, l'espace des variables. Dans chacun de ces espaces, on se propose de regrouper les points les plus proches : il est donc nécessaire de choisir une métrique. Lorsque les variables sont quantitatives, la méthode appropriée est l'analyse en composantes principales, et la métrique la plus satisfaisante est celle des inverses des variances (de façon à donner le même poids à toutes les variables, qu'elles soient très dispersées ou peu dispersées, et à pouvoir comparer des variables qui s'expriment dans des unités différentes) ou bien, ce qui est strictement équivalent, la métrique euclidienne sur les variables centrées réduites. Lorsque les variables sont qualitatives, la méthode s'appelle l'analyse en correspondances multiples (ACM), et la métrique utilisée est la métrique du χ^2 , qui mesure les écarts de la distribution effective par rapport à une distribution assurant l'indépendance des variables.

Une fois la métrique choisie, on peut donc mesurer la distance entre individus dans l'espace des variables, et des variables dans l'espace des individus. L'objectif est alors d'obtenir une représentation approchée du nuage des individus dans un sous-espace de faible dimension, par une projection qui déforme le moins possible les distances (et qui restitue donc un maximum d'information). À cet effet, les variables sont remplacées par les combinaisons linéaires de variables qui permettent de conserver le plus d'information. Ces combinaisons linéaires définissent des axes, sur lesquels les variables d'origine et les individus se projettent. Il est ainsi possible de représenter graphiquement les liens entre variables.

Dans l'analyse en correspondances multiples, une façon de traiter ces variables est de les dichotomiser, c'est-à-dire de remplacer chaque variable par autant de variables dichotomiques qu'elle a de modalités en construisant un tableau disjonctif. On mesure alors les écarts du nuage redéfini dans le référentiel de ces nouvelles variables par rapport à une situation d'indépen-

dance, c'est-à-dire par rapport à la répartition que l'on observerait si ces variables étaient indépendantes entre elles. Par projections, on définit ensuite les axes qui structurent le plus le nuage de points, c'est-à-dire les axes les plus discriminants.

L'interprétation revient à examiner la contribution de chaque modalité d'origine à la création de l'axe, et la qualité de la représentation de cette modalité sur l'axe. Si deux modalités de deux variables sur un axe sont proches, cela signifie qu'elles sont prises simultanément par une grande proportion d'individus. Si deux modalités d'une même variable sur un axe sont proches, cela veut dire que les individus qui les prennent ont des caractéristiques communes sur les autres variables.

Le danger de l'analyse en correspondances multiples est que des phénomènes rares peuvent créer à eux seuls des axes, puisque la contribution d'une modalité à un axe est inversement proportionnelle à son effectif. Une première analyse conduite sur les 1 046 entreprises ayant répondu à l'EAE et à l'enquête COI a ainsi déterminé des axes dus uniquement à l'externalisation, les deux premiers axes définissant trois groupes : les entreprises qui ont externalisé certaines de leurs activités entre 1994 et 1997, celles qui ont réinternalisé des activités sur cette période, et enfin les entreprises qui n'ont subi aucun changement de ce point de vue.

Cela a conduit à créer des variables synthétiques : dans un premier temps, des variables indiquant l'intensité des phénomènes, puis des variables dichotomiques informant si l'entreprise était au-dessus ou au-dessous d'un seuil (la médiane, quand c'était possible). Plusieurs variables de synthèse ont ainsi été créées, traitant de modes d'organisation, d'externalisation, de division du travail, d'implication du personnel dans le processus de décision, de l'existence de réseaux d'ordinateurs ou de micro-ordinateurs isolés, de l'usage interne et externe des ordinateurs, de l'étendue de la gamme de logiciels, de l'utilisation des ordinateurs pour communiquer. Dans l'ACM, 17 variables actives, soit 34 modalités, ont finalement été conservées. Les variables supplémentaires décrivent la main-d'œuvre (sexe, âge, stabilité d'emploi (1)) et les variables économiques de l'entreprise (chiffre d'affaires, nombre de salariés, taux d'investissement, efficacité économique).

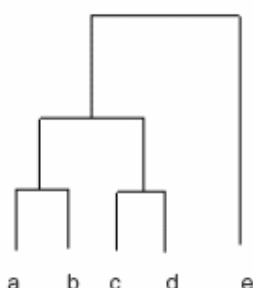
1. Les DADS distinguent les emplois suivant les caractéristiques suivantes : emploi à temps partiel ou à temps complet, emploi sur une partie seulement de l'année, ou sur toute l'année civile. On considère comme stables les postes de travail à temps plein définis sur toute l'année civile.

Source : Cases et Rouquette (2000)

ANNEXE 3 : PRESENTATION DE LA CLASSIFICATION MISE EN OEUVRE PAR CASES ET ROUQUETTE (2000)

Une classification hiérarchique a pour objet de répartir les différents éléments d'un ensemble (en l'occurrence, dans le cas de cet article, chacune des entreprises enquêtées) entre des classes disjointes, ces classes étant déterminées pour être le plus homogènes possible : parmi toutes les partitions possibles, la partition retenue doit assurer la variance interclasse maximale, ou, ce qui revient au même, la variance intraclasse minimale. Cette partition est obtenue au moyen d'un algorithme itératif : à chaque étape, un élément est agrégé à une classe, sur la base d'une règle de décision fondée sur un critère de distance minimale.

La classification ascendante hiérarchique, la plus fréquemment utilisée, part des n observations considérées comme n classes, et agrège à chaque étape une observation à une autre observation ou à une classe, les deux éléments retenus étant les plus proches au regard de la distance utilisée. À la n -ième étape on aboutit ainsi à une seule classe, regroupant tous les individus. Dans la classification descendante hiérarchique, très peu pratiquée, on part de l'ensemble des individus (classe unique de départ) que l'on désagrège progressivement jusqu'à obtenir n classes. Un tel algorithme peut être représenté par une arborescence dénommée *arbre de classification* ou *dendrogramme*. Chacun des nœuds de l'arbre matérialise l'agrégation (ou la séparation) d'un individu par rapport à l'une des classes obtenues à l'étape précédente (cf. le diagramme simple ci-dessous).



Toute classification implique d'adopter une mesure de la distance entre individus, ou plus simplement une mesure de la dissimilarité, et de définir à partir de cet indice de dissimilarité une stratégie d'agrégation, c'est-à-dire une définition de la dissimilarité entre la réunion de deux éléments et un troisième. Par exemple, dans le diagramme ci-dessus, l'indice de dissimilarité a conduit dans une première étape à associer a et b. Ensuite, comment mesurer la distance de (a,b) à c, d et e ? On peut retenir la distance minimale entre le singleton et la classe (stratégie du saut minimum) ou au contraire la distance maximale (stratégie du diamètre) ou bien d'autres stratégies : chacune aboutira à un arbre de classification différent.

Toute classification exige aussi de définir le nombre de classes optimal. Ce nombre est fixé en coupant l'arborescence à un niveau situé en amont du (ou des) nœuds qui s'accompagnent d'une forte perte de la variance interclasse (ou, ce qui revient au même, d'une forte augmentation de la variance intraclasse). Quel que soit l'indice de distance ou de dissimilarité choisi, les classes ainsi définies ne sont pas forcément les meilleures possibles. Un arbre de classification ne permet pas d'obtenir les n meilleures classes (optimum général) mais les n meilleures classes compte tenu des $n+1$ classes de l'étape précédente (optimum local). Les classes devant être en nombre restreint, et le plus homogènes possible, couper l'arbre de classification avant une augmentation importante de la variance intraclasse évite dans une certaine mesure d'agréger des individus ou des classes trop hétérogènes.

Plusieurs classifications ascendantes hiérarchiques ont ainsi été réalisées. La règle d'affectation retenue est celle de la variance minimum de Ward associée à la distance euclidienne. Les classifications sur variables qualitatives se sont révélées peu satisfaisantes : elles conduisaient au mieux à une variance interclasse de 30 %. On a donc réalisé une classification sur les facteurs issus de l'analyse factorielle. En théorie, tous les facteurs (c'est-à-dire toutes les coordonnées des variables sur les axes) doivent être conservés pour avoir une stricte équivalence entre la classification sur les variables originelles et la classification sur les facteurs de l'analyse en correspondances multiples. En pratique, l'essentiel de l'information pertinente est résumée par les premiers facteurs issus de l'analyse. Les variables qualitatives et les variables décrivant l'entreprise (nombre de salariés, chiffre d'affaires, ventilation de la main-d'œuvre selon le sexe, l'âge, la catégorie socioprofessionnelle et la stabilité de l'emploi, l'efficacité économique) ont été considérées comme des variables supplémentaires. Les classes ont ensuite été consolidées par la méthode des centres mobiles : partant des centres de gravité des classes obtenues, l'algorithme réaffecte certaines observations de façon à augmenter l'inertie interclasse de la partition.

Deux classifications ont été réalisées avec les cinq premiers facteurs de l'analyse. Chacune comportait deux discontinuités importantes de la variance intraclasse. Il était donc possible de retenir cinq ou huit classes. Afin de faciliter l'interprétation, on s'est limité à cinq classes. Elles assurent une variance interclasse de 46 % de la variance totale. Toutes les variables supplémentaires sont significativement corrélées avec la variable de classe, sauf le chiffre d'affaires par tête. Cette dernière était le seul indicateur de performance de l'entreprise retenu. En effet, peu de variables économiques sont disponibles pour toutes les entreprises. La plupart des données comptables ne sont disponibles que pour les entreprises de 30 salariés et plus ou faisant un chiffre d'affaires de 30 millions de francs ou plus. Un tel seuil est élevé dans le secteur des activités comptables.

Source : Cases et Rouquette (2000)

ANNEXE 4 : PRESENTATION DES VARIABLES QUALITATIVES UTILISEES DANS LES ACM RELATIVES A L'INFORMATISATION DES ENTREPRISES COMPTABLES

I) Les variables qualitatives utilisées dans les deux ACM décrivant l'informatisation des entreprises comptables en 1994 puis en 1997

Les variables ci-dessous sont directement issues de l'enquête C.O.I., à l'exception de la variable « transferts avec les clients ». Cette dernière est construite à partir des quatre rubriques de la question 19 du volet « entreprises comptables ». Ces rubriques décrivent d'une part l'existence ou non d'un envoi de documents au client (données de base ou documents de synthèse). Ces rubriques décrivent d'autre part l'existence ou non d'une réception de documents adressés par le client (données de base ou documents de synthèse). L'existence de transferts avec les clients correspond à une réponse affirmative à l'une des quatre rubriques de la question 19.

Les variables pour lesquelles il n'existe pas de données relatives à 1994 sont caractérisées par 0% d'utilisation et par 100% de non-utilisation. Enfin, les statistiques descriptives figurant dans le tableau ci-dessous tiennent compte du poids de sondage figurant dans l'enquête C.O.I.

	1994		1997	
	Utilisation	Pas d'utilisation	Utilisation	Pas d'utilisation
Fixes connectés en réseau	39,04%	60,96%	63,41%	36,59%
Portables connectables	18,95%	81,05%	46,30%	53,70%
Logiciels de révision comptable	39,75%	60,25%	53,90%	46,10%
Logiciels d'aide au conseil	31,30%	68,7%	47,01%	52,99%
Transferts avec les clients	7,68%	92,32%	19,40%	80,60%
Transferts avec les prestataires	10,89%	89,11%	20,90%	79,10%
Transferts avec les pouvoirs publics	27,75%	72,25%	51,68%	48,32%
Transferts avec les banques	4,44%	95,56%	13,37%	86,63%
Transferts avec le réseau	1,65%	98,35%	6,42%	93,58%
Messagerie électronique	0%	100%	15,04%	84,96%
Envoi et réception de fichiers	0%	100%	13,67%	86,33%
Mise à disposition des informations	0%	100%	3,99%	96,01%
Consultation des bases de données	0%	100%	13,92%	86,08%
Intranet	0%	100%	9,51%	90,49%
Documentation sur CD-ROM	0%	100%	48,92%	51,08%
Archivage informatique dossiers	0%	100%	30,61%	69,39%
Fichier client (marketing)	0%	100%	32,21%	67,79%
Base de données documentaire	0%	100%	26,37%	73,63%

Source : enquête C.O.I., volet « entreprises comptables »

II) Les variables qualitatives utilisées dans l'ACM décrivant l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997

Les variables qualitatives suivantes comportent quatre modalités décrivant l'évolution de l'informatisation entre 1994 et 1997. La modalité « adoption » est associée à l'utilisation en 1997 et à l'absence d'utilisation en 1994. La modalité « pas d'adoption » est associée à l'absence d'utilisation en 1997 et en 1994. La modalité « déjà adopté » est associée à l'utilisation dès 1994. La modalité « abandon » est associée à l'utilisation en 1994 et à l'absence d'utilisation en 1997. Cette dernière modalité ne figure pas dans le tableau ci-dessous car elle ne concerne aucune entreprise quelle que soit la variable considérée.

De plus, la modalité « déjà adopté en 1994 » est de 0% pour les variables où seule l'année 1997 est mentionnée dans le questionnaire. Ces variables ne comportent donc que deux modalités : « adoption » et « non adoption » entre 1994 et 1997. L'utilisation d'une de ces variables en 1997 est assimilée à son adoption entre 1994 et 1997. L'absence d'utilisation d'une de ces variables en 1997 est assimilée à son absence d'adoption entre 1994 et 1997.

De nouveau, les statistiques descriptives figurant dans le tableau ci-dessous tiennent compte du poids de sondage figurant dans l'enquête C.O.I.

	Adoption entre 1994 et 1997	Pas d'adoption entre 1994 et 1997	Déjà adopté en 1994
Fixes connectés en réseau	24,69%	36,29%	39,02%
Portables connectables	26,89%	54,69%	18,42%
Logiciels de révision comptable	14,49%	45,97%	39,55%
Logiciels d'aide au conseil	15,85%	53,04%	31,11%
Transferts avec les clients	7,65%	81,43%	10,92%
Transferts avec les prestataires	10,65%	78,27%	11,08%
Transferts avec les pouvoirs publics	27,32%	47,18%	25,50%
Transferts avec les banques	8,94%	86,60%	4,46%
Transferts avec le réseau	4,65%	93,70%	1,65%
Messagerie électronique	15,04%	84,96%	0%
Envoi et réception de fichiers	13,67%	86,33%	0%
Mise à disposition des informations	3,99%	96,01%	0%
Consultation des bases de données	13,92%	86,08%	0%
Intranet	9,51%	90,49%	0%
Documentation sur CD-ROM	48,92%	51,08%	0%
Archivage informatique dossiers	30,61%	69,39%	0%
Fichier client (marketing)	32,21%	67,79%	0%
Base de données documentaire	26,37%	73,63%	0%

Source : enquête C.O.I., volet « entreprises comptables »

**ANNEXE 5 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES ET MATRICE DES
CORRELATIONS DES VARIABLES QUANTITATIVES
CONSIDEREES DANS LES REGRESSIONS**

**I) Statistiques descriptives relatives aux variables quantitatives issues de l'enquête COI
ou des E.A.E.**

	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
EFSA	711	0.9395218	11.96088	-74	83
AXE1	363	0.1105621	0.4753772	- 0.7063663	1.432626
DTI1	363	0.068159	0.484168	- 0.8297869	1.523433
DIFINV	711	31616.03	776372.1	- 5012000	7696000
DIFCF	711	- 35518.99	527869.3	- 4534000	1.04 e+07
DIFEBE	711	- 265641.4	1461588	- 9289000	6565000

**II) Matrice des corrélations relative aux variables quantitatives issues de l'enquête COI
ou des E.A.E.**

	EFSA	AXE1	DTI1	DIFINV	DIFCF	DIFEBE
EFSA	1					
AXE1	0.1310**	1				
DTI1	0.1290**	0.8124***	1			
DIFINV	0.2702***	0.1166**	0.1040**	1		
DIFCF	0.1976***	- 0.0174	0.0418	0.0821**	1	
DIFEBE	0.2306***	0.1308**	0.1138**	0.0998***	0.1554***	1

ANNEXE 6 : CONSTRUCTION ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES VARIABLES QUALITATIVES CONSIDEREES DANS LES REGRESSIONS

Le premier tableau ci-dessous donne les statistiques descriptives pondérées relatives aux variables dichotomiques pouvant être liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. La variable DNBSF représente l'évolution du nombre de fonctions administratives entre 1994 et 1997, la modalité 1 indiquant l'existence de l'évolution, la modalité 0 indiquant son absence. La variable CROIS distingue les entreprises où la croissance externe est très importante dans la stratégie (modalité 6 de la variable CROIS1 issue de l'enquête C.O.I.) des entreprises où ce rôle est peu important, assez important ou important (modalités 3, 4 et 5 de la variable CROIS1). Les cinq autres variables dichotomiques sont celles de l'enquête C.O.I.

	DNBSF	CROIS	CAPI2	ORESO4	ATTEN10	ALEA10	OMARCH4
1	70.22%	6.98%	17.33%	16.08%	63.30%	30.46%	35.40%
0	29.78%	93.02%	82.67%	83.92%	36.70%	69.54%	64.60%

Le tableau ci-dessous donne les statistiques descriptives pondérées relatives aux variables dichotomiques pouvant être liées à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997. La variable QLI distingue les entreprises où l'amélioration de la qualité est très importante dans la stratégie (modalité 6 de la variable AMEL1 issue de l'enquête C.O.I.) des entreprises où ce rôle est peu important, assez important ou important (modalités 3, 4 et 5 de la variable AMEL1). Le même raisonnement s'applique à la variable COUT construite à partir de la variable COUT1 de l'enquête C.O.I. Les six autres variables dichotomiques sont celles de l'enquête C.O.I.

	IRESO4	COMMU2	SPECI2	INTER2	QLI	COUT	I PROF4	IADMI4
1	15.47%	49.94%	27.16%	22.14%	43.33%	31.06%	45.03%	30.97
0	84.53%	50.06%	72.84%	77.86%	56.67%	68.94%	54.97%	69.03

CONCLUSION GENERALE

Les relations entre informatisation, organisation et performances ont fait l'objet de nombreuses recherches théoriques ou empiriques et sont envisagées de différentes façons. D'une part, l'organisation est souvent considérée comme un facteur essentiel pour expliquer l'amélioration des performances issue de l'informatisation. D'autre part, l'informatisation et l'environnement des entreprises sont assimilés à des facteurs de contingence impliquant une évolution de l'organisation optimale. Cette dernière représentation est celle retenue par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes pour étudier le traitement de l'information par un groupe d'agents à capacité de traitement limitée mais adhérant à un objectif commun.

La thèse a un double objet. D'une part, étudier d'un point de vue théorique les liens entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives. Cette étude envisage de nouveaux aspects dans l'analyse économique des activités administratives qui n'ont pas été pris en compte par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. D'autre part, il s'agit de tester empiriquement les prédictions issues de la partie théorique quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises.

La première partie retrace l'analyse économique des activités administratives telle qu'elle est envisagée par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Les deux premiers chapitres montrent respectivement la diversité des caractéristiques de l'organisation optimale des activités administratives et l'évolution de ces caractéristiques en présence de l'incertitude de l'environnement et de l'amélioration de la capacité de traitement des agents. Cette première partie nous a permis de mettre en évidence l'incomplétude de l'analyse de l'informatisation des activités administratives.

D'une part, les modèles considérés dans cette première partie ne traitent pas du rôle de l'organisation dans la diffusion des TI, ne disent rien du seuil d'informatisation nécessaire à l'obtention du changement organisationnel et négligent les liens entre environnement, efficience et informatisation. D'autre part, les études empiriques vérifiant les prédictions des modèles sont rares et elles ne concernent pas les liens entre l'informatisation, l'incertitude de l'environnement et la taille des entreprises.

La deuxième partie se propose de traiter de ces nouveaux aspects de l'analyse économique des activités administratives. D'une part, elle donne des résultats venant compléter ceux obtenus par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes quant aux liens entre informatisation, organisation, environnement et efficacité des activités administratives. D'autre part, elle aboutit à des prédictions originales quant aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives.

Le chapitre 3 a introduit une innovation méthodologique en retenant une définition de l'efficacité distincte de celle de Radner (1993). Nous y considérons comme efficace l'organisation qui traite le plus rapidement une certaine quantité de données avec un même nombre d'agents dont la capacité de traitement est homogène. Ce critère permet de trouver les facteurs explicatifs de la différence de délai pour sept structures administratives au regard de la structure irrégulière. Le délai dépend du nombre relatif des agents et des données, de la répartition des données entre les agents et de la manière dont ils sont coordonnés. L'organisation et l'environnement affectent donc l'efficacité des activités administratives.

Le chapitre 4 étudie les conséquences de l'informatisation sur l'efficacité des activités administratives en l'absence du changement organisationnel, puis en sa présence et enfin tient compte de l'environnement (augmentation de la quantité des données à traiter). En l'absence de changement organisationnel, la diminution du délai et la diffusion des technologies dépendent de la structure à laquelle s'applique l'informatisation. L'informatisation suscite le changement organisationnel quand l'amélioration de la capacité de traitement dépasse un certain seuil. Enfin, l'environnement affecte le délai, ce qui peut susciter l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai à son niveau initial.

Cette deuxième partie nous conduit à de nouvelles prédictions quant aux liens existant entre informatisation, environnement et taille des activités administratives. La taille des activités administratives diminue quand la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil, la taille augmente quand la quantité des données à traiter dépasse un certain seuil et la taille reste stable quand les seuils critiques ne sont pas atteints.

La troisième partie étudie les liens entre informatisation et taille des entreprises d'un point de vue empirique. Le chapitre 5 procède à une recension des études empiriques associant informatisation, frontières et taille des entreprises. Ces études se fondent sur la théorie des contrats incomplets sans faire mention des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Le chapitre 6 teste empiriquement les prédictions théoriques relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des activités administratives présentées lors des deux premières parties. Ce chapitre utilise les données de l'enquête « changements organisationnels et informatisation » relative aux entreprises comptables.

Les résultats obtenus sont plus proches des prédictions issues de notre modèle que des prédictions offertes par les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. Premièrement, l'évolution de l'informatisation n'a pas de lien statistiquement significatif avec l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997. Deuxièmement, les fluctuations prévues et imprévues de la demande n'ont pas de lien avec l'évolution de la taille des entreprises comptables, mais elles sont liées à l'évolution de leur informatisation.

Ces résultats sont compatibles avec ceux de notre modèle. D'une part, la taille évolue quand la capacité de traitement dépasse un certain seuil ou reste stable quand la capacité de traitement n'atteint pas le seuil critique. D'autre part, l'augmentation de la quantité des données à traiter favorise l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents quand l'informatisation ne suffit pas pour maintenir le délai initial.

L'absence de liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille des entreprises comptables ne signifie pas que l'informatisation n'a aucun effet sur les effectifs. Il est possible que l'informatisation implique la substitution de travailleurs qualifiés aux travailleurs non qualifiés. La question du biais technologique a fait l'objet de plusieurs investigations empiriques dans l'industrie¹.

Une étude empirique relative à l'existence du biais technologique dans les activités comptables aurait le mérite de compléter l'étude des liens entre l'informatisation et les effectifs des entreprises comptables. Néanmoins, il est difficile d'envisager une telle étude en se fondant sur les modèles s'inspirant de la théorie des équipes. En effet, Meagher, Orbay et Van Zandt (2002, 2004) estiment que la prise en compte d'agents aux compétences hétérogènes présente d'énormes difficultés techniques dans le cadre de leur modèle.

¹ Greenan (1999) donne une présentation détaillée des différentes conceptions du biais technologique qui fait également référence aux liens entre informatisation et salaires.

Notre modèle exposé lors de la deuxième partie considère trois sortes d'agents administratifs. Premièrement, les agents peuvent avoir pour fonction de traiter les données initiales. Deuxièmement, les agents peuvent avoir pour fonction de traiter les rapports issus de l'activité de traitement d'un autre agent. Troisièmement, les agents peuvent cumuler les deux fonctions et être polyvalents. Selon nous, la présence de ces trois catégories d'agents administratifs dans certaines des structures administratives considérées lors de la deuxième partie rend délicate une étude des liens entre l'informatisation et la substitution des agents qualifiés aux agents non qualifiés.

Cette étude est en apparence plus facile à mener dans le cadre des hiérarchies régulières qui séparent les activités de traitement des données initiales des activités de traitement des rapports. Néanmoins, la transformation de la nature de l'activité de traitement d'un agent liée à l'informatisation implique un changement organisationnel de grande ampleur². Enfin, une telle étude implique également une réflexion plus poussée sur la nature de l'informatisation des activités administratives, distinguant deux catégories d'informatisation suivant qu'elle s'applique au traitement des données ou à celui des rapports.

² Par exemple, dans la hiérarchie régulière « large » où un agent reçoit les rapports de 5 subordonnés, charger un agent de traiter des rapports au lieu de traiter des données initiales engendre une modification des liens entre les agents et une évolution de la répartition des données initiales. Le sommet reçoit les rapports de 6 agents, lesquels reçoivent chacun les rapports de 4 agents qui traitent tous 5 données. Le délai augmente de 14 à 15 périodes, mais il reste de 14 périodes quand la capacité de traitement du sixième agent augmente de 33%.

INDEX DES TABLEAUX ET DES GRAPHIQUES

Graphique 1.1 : Décision centralisée avec des agents spécialisés dans la communication et dans l'exécution des instructions	25
Graphique 1.2 : Décentralisation partielle des décisions où l'agent 3 utilise les instructions de l'agent 1 pour décider de l'action 2.....	25
Graphique 1.3 : Décentralisation des décisions où l'agent 3 utilise les informations de l'agent 1 (observation ou décision) pour décider de l'action 2	26
Graphique 1.4 : Recherche d'un maximum parmi 8 nombres avec un arbre binaire équilibré comportant 4 agents et exécutant 7 opérations en 3 périodes.....	35
Tableau 1.1 : Délai minimal et efficacité des réseaux traitant 40 données avec un nombre d'agents compris entre 1 et 40.....	36
Graphique 1.5 : Hiérarchie régulière traitant 40 données en 11 périodes avec 15 agents.....	42
Graphique 1.6 : Hiérarchie irrégulière traitant 40 données en 8 périodes avec 8 agents	43
Tableau 1.2 : Comparaison des délais asymptotiques pour les réseaux PPT et les hiérarchies irrégulières.....	44
Graphique 2.1 : Expression de la taille de l'échantillon en fonction de la dispersion des préférences des consommateurs pour $a = 8$, pour $\sigma_e^2 = 0,1$ pour $\delta = 1$, pour $\alpha = 1$ et pour $w = 0,001$	63
Graphique 2.2 : Expression de la taille des activités administratives en fonction de la capacité de traitement pour $a = 8$, pour $\sigma_y^2 = 5$, pour $\sigma_e^2 = 0,1$ pour $\alpha = 1$ et pour $w = 0,001$	70
Tableau 2.1 : Synthèse des effets de l'informatisation sur l'organisation des activités administratives	75
Tableau 2.2 : Synthèse des effets de l'incertitude de l'environnement sur l'organisation des activités administratives.....	82

Graphique 3.1a : Hiérarchie régulière avant réduction	88
Graphique 3.1b : Hiérarchie régulière après une étape de réduction	88
Graphique 3.1c : Hiérarchie régulière après trois étapes de réduction.....	89
Tableau 3.1 : Délai minimal et efficience des réseaux traitant 40 données avec un nombre d'agents compris entre 1 et 40.....	89
Graphique 3.2 : Structure irrégulière traitant 30 données en 8 périodes avec 6 agents	91
Tableau 3.2 : Diagramme temporel représentant de l'agrégation 30 données par une hiérarchie régulière comportant 6 agents	92
Tableau 3.3 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 30 données par une hiérarchie égalitaire comportant 6 agents.....	93
Tableau 3.4 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 30 données par une structure irrégulière comportant 6 agents	94
Graphique 3.3 : Délais de traitement de la structure irrégulière, de la hiérarchie égalitaire et de la hiérarchie régulière comportant 6 agents et traitant entre 30 et 100 données	95
Graphique 3.4 : Trois procédures de calcul utilisant le modèle de Radner (1993) avec 7 agents et une fréquence de traitement de $1/6$ pour $n = 36$	99
Graphique 3.5 : Chaîne de montage traitant N_{\max} données en $L + P - 1$ périodes avec P agents.....	102
Tableau 3.5 : Diagramme temporel de la chaîne de montage traitant 30 données en 9 périodes avec 6 agents	103
Tableau 3.6 : Diagramme temporel de la chaîne de montage mal coordonnée traitant 30 données en 9 périodes avec 6 agents	104
Graphique 3.6 : Délais de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie égalitaire, de la chaîne de montage et de la structure irrégulière pour traiter de 30 à 100 données avec 6 agents.....	105
Graphique 3.7 : Délais de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie égalitaire, de la chaîne de montage et de la structure irrégulière pour traiter de 30 à 100 données avec 13 agents.....	106
Graphique 3.8 : Délais de la hiérarchie régulière, de la hiérarchie égalitaire, de la chaîne de montage et de la structure irrégulière pour traiter de 30 à 400 données avec 17 agents.....	107
Graphique 3.9 : Hiérarchie régulière « étroite » avec 31 agents répartis entre cinq niveaux.....	109
Graphique 3.10 : Hiérarchie régulière « large » avec 31 agents répartis entre trois niveaux.....	110

Graphique 3.11 : Comparaison du délai de la hiérarchie égalitaire « large » et de la hiérarchie égalitaire « étroite » pour traiter de 31 à 130 données avec 31 agents.....	111
Graphique 3.12 : Comparaison du délai de la hiérarchie régulière « large » et de la hiérarchie régulière « étroite » pour traiter de 31 à 140 données avec 31 agents	112
Graphique 3.13 : Hiérarchie fortement déséquilibrée comportant 31 agents	114
Tableau 3.7 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière déséquilibrée comportant 31 agents et trois niveaux.....	115
Tableau 3.8 : Délai d'agrégation de 120 données par 31 agents pour huit structures administratives régulières, irrégulières, équilibrées ou déséquilibrées	117
Tableau 4.1 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière déséquilibrée comportant 31 agents et trois niveaux avec informatisation de l'agent ZE ($d_{ZE} = 13$) réduisant le délai de 22 périodes....	121
Tableau 4.2 : Nombre de périodes nécessaires au traitement de diverses quantités de données lorsque la capacité de traitement augmente de 20% ($d = 1,2$)	122
Tableau 4.3 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière « large » comportant 31 agents avec informatisation du sommet hiérarchique ($d_{ZF} = 13$) réduisant le délai de quatre périodes	122
Tableau 4.4 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une hiérarchie régulière « étroite » comportant 31 agents avec informatisation de l'agent ZF ($d_{ZF} = 13$) réduisant le délai d'une période	124
Graphique 4.1 : Structure irrégulière comportant 31 agents.....	125
Tableau 4.5 : Diagramme temporel représentant l'agrégation de 120 données par une structure irrégulière comportant 31 agents	126
Tableau 4.6 : Délai d'agrégation de 120 données par 31 agents pour huit structures administratives régulières, irrégulières, équilibrées ou déséquilibrées avant et après informatisation.....	127
Tableau 4.7 : Pourcentages de diminution du délai associés à une augmentation de la capacité de traitement de 20% pour un agent dans quatre structures administratives	127
Tableau 4.8 : L'informatisation d'un troisième agent ne réduit pas le délai dans la structure irrégulière car elle crée une période d'inactivité	129
Tableau 4.9 : L'informatisation d'un cinquième agent ne réduit pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » car elle crée des périodes d'inactivité.....	130

Tableau 4.10 : Informatisation de sept agents et décroissance du délai par paliers dans la structure irrégulière et dans les hiérarchies « étroite », « large » et fortement déséquilibrée	132
Graphique 4.2 : Hiérarchie régulière « étroite » traitant 120 données avec 31 agents en 15 périodes après transfert d'une donnée vers l'agent B ($dB = 1,125$)	135
Graphique 4.3 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données avec 31 agents en 13 périodes après transfert de deux donnée vers l'agent C ($dC = 1,4$)	136
Tableau 4.11 : Seuils d'amélioration de la capacité de traitement réduisant le délai dans la hiérarchie régulière « large » et dans la hiérarchie régulière « étroite » avec et sans changement organisationnel	137
Graphique 4.4 : Hiérarchie régulière « large » avec modification des liens entre les agents après une augmentation de la capacité de traitement de 20% pour l'agent ZB.....	138
Graphique 4.5 : Hiérarchie irrégulière « large » avec modification des liens entre les agents après une augmentation de la capacité de traitement de 20% pour l'agent ZF	138
Graphique 4.6 : Hiérarchie irrégulière « étroite » avec diminution du nombre des agents après une augmentation de la capacité de traitement de 50% pour l'agent Q	139
Graphique 4.7 : Hiérarchie irrégulière « étroite » avec diminution du nombre des agents après une augmentation de la capacité de traitement de 50% pour l'agent ZF.....	140
Graphique 4.8 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 13 périodes avec 30 agents après l'informatisation de D ($dD = 2$) et la disparition de E	142
Graphique 4.9 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 13 périodes avec 30 agents après l'informatisation de ZB ($dZB = 2$) et la disparition de ZA	142
Graphique 4.10 : Hiérarchie irrégulière « large » traitant 120 données en 11 périodes avec 30 agents après l'informatisation de ZF ($dZF = 2$) et la disparition de ZA	143
Graphique 4.11 : Hiérarchie régulière « étroite » traitant 120 données en 14 périodes avec 26 agents après informatisation de B ($dB = 2$) et disparition de D, R,Y, ZD, ZF	144
Graphique 4.12 : Hiérarchie régulière « étroite » traitant 120 données en 13 périodes avec 29 agents après l'informatisation de ZF ($dZF = 2$) et la disparition de ZD et ZE	144

Graphique 4.13 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 9 périodes avec 26 agents après l'informatisation de ZF ($dZF = 5$) et la disparition du niveau 2.....	145
Graphique 4.14 : Hiérarchie irrégulière « large » traitant 120 données en 13 périodes avec 30 agents (sans ZE) après informatisation de ZA, ZB, ZC, ZD ($d = 1,2$).....	147
Graphique 4.15 : Hiérarchie régulière « large » traitant 120 données en 14 périodes avec 29 agents (sans ZE ni Y) après informatisation de ZA, ZB, ZC, ZD ($d = 1,2$)...	148
Tableau 4.12 : Délais de traitement de 120, puis de 240 données par les hiérarchies régulières, les hiérarchies égalitaires et la structure irrégulière comportant 31 agents.....	150
Tableau 4.13 : Nombre de données pour lequel les différentes formes du changement organisationnel ne maintiennent pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » et dans la hiérarchie régulière « large »	154
Tableau 4.14 : Nombre de données pour lequel les différentes formes du changement organisationnel et l'informatisation totale ne maintiennent pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » et dans la hiérarchie régulière « large »	156
Tableau 4.15 : Nombre de données pour lequel les différentes formes du changement organisationnel associées à l'informatisation totale ne maintiennent pas le délai dans la hiérarchie régulière « étroite » et dans la hiérarchie régulière « large »	158
Tableau 5.1 : Régressions en niveau et en différences premières utilisant les données de cohortes en 1987, 1992 et 1997.....	170
Tableau 5.2 : Adoption des technologies et mode de transport choisi en cas d'interactions avec le type de produits transportés.....	172
Tableau 5.3 : Résultats des estimations de l'effet des TI, du commerce extérieur et des variables de contrôle pour les quatre définitions de la taille des firmes.....	179
Tableau 5.4 : Résultats des estimations de l'effet des TI, du commerce extérieur, et des variables de contrôle dans l'industrie et les services pour deux définitions de la taille des firmes.....	180
Tableau 5.5 : Mécanismes par lesquels les TI affectent la taille des firmes dans l'industrie, le commerce et les services.....	184
Tableau 5.6 : Régression relative à la taille moyenne des firmes dans l'industrie	185
Tableau 5.7 : Evolution du nombre d'employés et du nombre de firmes entre 1967 et 1992 dans l'industrie	186

Tableau 5.8 : Régression relative à la taille moyenne des firmes dans le commerce de détail .	187
Tableau 5.9 : Régression relative à la taille moyenne des firmes dans les services.....	188
Tableau 5.10 : Régression relative au nombre moyen d'établissement par firme dans les services	189
Tableau 5.11 : Récapitulatif de l'effet des TI sur la taille des firmes selon les différents auteurs.....	190
Tableau 6.1 : Evolution du taux d'équipement selon la taille de l'entreprise et le type de matériel	196
Tableau 6.2 : Cinq classes d'entreprises comptables	199
Tableau 6.3 : Résultats des régressions relatives aux liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille des entreprises comptables, abstraction faite de l'environnement.....	212
Tableau 6.4 : Résultats des régressions relatives aux variables explicatives de l'informatisation des entreprises comptables, abstraction faite de l'environnement	215
Tableau 6.5 : Résultats des régressions relatives aux liens entre l'évolution de l'informatisation, l'évolution de l'environnement et l'évolution de la taille des entreprises comptables	218
Tableau 6.6 : Résultats des régressions relatives aux variables explicatives de l'informatisation des entreprises comptables, environnement compris	221

BIBLIOGRAPHIE

- Aghion P. and Tirole J. (1997), « Formal and Real Authority in Organizations », *Journal of Political Economy*, CV, 1 : 1-29.
- Amendola M. and Gaffard J.L. (1988a), *The Innovative Choice*, Oxford, Blackwell.
- Amendola M. et Gaffard J.L. (1988b), *La dynamique économique de l'innovation*, Paris, Economica.
- Amendola M. and Gaffard J.L. (1998), *Out of Equilibrium*, Oxford, Clarendon Press.
- Aoki M. (1986), « Horizontal vs. Vertical Information Structure of the Firm », *The American Economic Review*, LXXVI, 5 : 971-983.
- Aoki M. (1990), « The Participatory Generation of Information Rents and the Theory of the Firm », in Aoki M., Gustafsson B. and Williamson O.E. eds., *The Firm as a Nexus of Treaties*, London, Sage Publications.
- Aoki M. (1996), « Non-hierarchical Aspects of the Internal Organization of the Enterprise : A Partial Survey in Comparative Perspective », in Allen B. ed., *Economics in a changing world : proceedings of the tenth world congress of the international economic association*, Vol 2, London, McMillan. 239-272.
- Autor D., Katz L.F. and Krueger A.B. (1998), « Computing Inequality : Have Computers Changed the Labor Market ? », *The Quarterly Journal of Economics*, CXIII, 4 : 1169-1213.
- Baker G.P. and Hubbard T.N. (2003), « Make Versus Buy in Trucking : Asset Ownership, Job Design, and Information », *The American Economic Review*, XCIII, 3 : 551-572.
- Baker G.P. and Hubbard T.N. (2004), « Contractability and Asset Ownership : On-Board Computers and Governance in U.S. Trucking », *The Quarterly Journal of Economics*, CXIX, 4 : 1443-1479.
- Cukrowski J. and Baniak A. (1999), « Organizational restructuring in response to changes in information-processing technology », *Review of Economic Design*, IV, 4 : 295-305.
- Beckmann M.J. (1958), « Decision and Team Problems in Airline Reservations », *Econometrica*, XXVI, 1 : 134-145.
- Beckmann M.J. (1960), « Some aspects of returns to scale in business administration », *Quarterly Journal of Economics*, LXXIV, 3 : 464-471.
- Beckmann M. (1977), « Management production functions and the theory of the firm », *Journal of Economic Theory*, XIV, 1 : 1-18.

- Berndt E. and Morrison C.J. (1995), « High-tech Capital Formation and Economic Performance in U.S. Manufacturing Industries : An Exploratory Analysis », *Journal of Econometrics*, LXV, 1 : 9-43.
- Bolton P. and Dewatripont M. (1994), « The Firm as a Communication Network », *The Quarterly Journal of Economics*, CIX, 4 : 809-839.
- Brousseau E. et Rallet A. (1997), « Le rôle des technologies de l'information et de la communication dans les changements organisationnels », in Guilhon B., Huard P., Orillard M. et Zimmermann J.B. dir., *Economie de la connaissance et organisation : entreprises, territoires, réseaux*, Paris, L'Harmattan. 286-309.
- Brousseau E. and Rallet A. (1998), « Beyond Technological or Organizational Determinism : A Framework to Understand the Link Between Information Technologies and Organizational Changes », in MacDonald S. and Madden G. eds., *Telecommunications and Socio-Economic Development*, Amsterdam, Elsevier Science. 245-262.
- Brynjolfsson E. (1993), « The Productivity Paradox of Information Technology », *Communications of the ACM*, XXXVI, 12 : 66-77.
- Brynjolfsson E. (1994), « Information Assets, Technology and Organization », *Management Science*, XL, 12 : 1645-1662.
- Brynjolfsson E. and Hitt L. (1995), « Information Technology as a Factor of Production : the Role of Differences among Firms », *Economics of Innovation and New Technology*, III, 3-4 : 183-199.
- Brynjolfsson E. and Hitt L. (1996), « Paradox Lost ? Firm-Level Evidence on the Returns to Information Systems Spending », *Management Science*, XLII, 4 : 541-558.
- Brynjolfsson E. and Hitt L. (1998), « Information technology and organizational design : evidence from microdata », *Working paper MIT Sloan School of Management*, October 1998 : 1-59.
- Brynjolfsson E. and Hitt L.M. (2000), « Beyond Computation : Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance », *Journal of Economic Perspectives*, XIV, 4 : 23-48.
- Brynjolfsson E., Malone T.W., Gurbaxani V. and Kambil A. (1994), « Does Information Technology Lead to Smaller Firms ? », *Management Science*, XL, 12 : 1628-1644.
- Caby L., Greenan N., Gueissaz A. et Rallet A. (1999), « Informatisation, organisation et performances : quelques propositions pour une modélisation », in Foray D. et Mairesse J.

dir., *Innovations et performances : Approches interdisciplinaires*, Paris, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales. 131-169.

- Carter M.J. (1995), « Information and the Division of Labor : Implications for the Firm's Choice of Organization », *Economic Journal*, CV, 429 : 385-397.
- Cases C. (1997), « Les réseaux d'entreprise dans les secteurs des activités comptables et de conseil », *INSEE Première*, 532 : 1-4.
- Cases C. et Rouquette C. (1999), « Les comptables à la pointe de l'informatique », *INSEE Première*, 677.
- Cases C. et Rouquette C. (2000), « Information, utilisation des technologies de l'information et changements organisationnels : l'exemple des activités comptables en France », *Economie et statistique*, 339-340 ; 9-10 : 203-218.
- Mairesse J., Cette G. et Kocoglu Y. (2000), « Les technologies de l'information et de la communication en France : diffusion et contribution à la croissance », *Economie et statistique*, 339-340 ; 9-10 : 117-146.
- Cette G., Mairesse J. et Kocoglu Y. (2002), « Croissance économique et diffusion des TIC : le cas de la France sur longue période (1980-2000) », *Revue française d'économie*, XVI, 3 : 155-192.
- Cette G., Mairesse J. et Kocoglu Y. (2003), « Diffusion des TIC et croissance de l'économie française sur longue période (1980-2000) », in Archambault E. et Boëda M. dir., *La mesure de la nouvelle économie*, Paris, Economica.
- Colombo M.G. and Delmastro M. (2004), « Delegation of authority in business organizations : Testing the determinants of the allocation of decision-making », *The Journal of Industrial Economics*, LII, 1 : 53-80.
- Cremer J. (1980), « A partial theory of the optimal organization of a bureaucracy », *The Bell Journal of Economics*, XI, 2 : 683-693.
- Delmastro M. (2002), « The determinants of the management hierarchy : evidence from Italian plants », *International Journal of Industrial Organization*, XX, 1 : 119-137.
- Dunne T., Roberts M.J. and Samuelson L. (1989), « The Growth and Failure of U.S. Manufacturing Plants », *The Quarterly Journal of Economics*, CIV, 4 : 671-698.
- Evans D.S. (1987a), « The Relationship between Firm Growth, Size and Age : Estimates for 100 Manufacturing Industries », *The Journal of Industrial Economics*, XXXV, 4 : 567-581.

- Evans D.S. (1987b), « Test of Alternative Theories of Firm Growth », *The Journal of Political Economy*, XCV, 4 : 657-674.
- Foray D. (1997), « Code informationnel, échanges électroniques de données et nouveaux dispositifs collectifs de coordination : une analyse économique du phénomène d'intégration électronique », in Garrouste P. dir., *Les frontières de la firme*, Paris, Economica.
- Gaffard J.L. (1997), « Anatomie de la croissance molle : un commentaire », *Revue de L'OFCE*, n°61.
- Garicano L. (2000), « Hierarchies and the Organization of Knowledge in Production », *Journal of Political Economy*, XVIII, 5 : 874-904.
- Geanakoplos J. and Milgrom P. (1991), « A Theory of Hierarchies Based on Limited Managerial Attention », *Journal of the Japanese and International Economies*, V, 3 : 205-225.
- Gibrat R. (1931), *Les inégalités économiques ; applications : aux inégalités des richesses, à la concentration des entreprises, aux populations des villes, aux statistiques des familles, etc., d'une loi nouvelle, la loi de l'effet proportionnel*, Paris, Librairie du Recueil Sirey.
- Gollac M., Greenan N. et Hamon-Cholet S. (2000), « L'informatisation de l'ancienne économie : nouvelles machines, nouvelles organisations et nouveaux travailleurs », *Economie et statistique*, 339-340, 9-10 : 171-201.
- Greenan N. (1994), « L'organisation du travail dans les PMI se distingue-t-elle de celle des grandes entreprises ? », *Economie et statistique*, 271-272 : 87-103.
- Greenan N. (1999), « Technologies de l'information et de la communication, productivité et emploi : deux paradoxes », in Brousseau E. et Rallet A. dir., *Technologies de l'information, organisation et performances économiques*, Paris, La Documentation française. 75-159.
- Greenan N. et Hamon-Cholet S. (2003), « Genèse et méthodologie de l'enquête sur les Changements Organisationnels et l'Informatisation », *Journées Changements Organisationnels et Informatisation*, 4-5 décembre 2003.
- Greenan N. and Mairesse J. (2000), « Computer and Productivity in France : Some Evidence », *Economics of Innovation and New Technology*, IX, 3 : 275-315.

- Greenan N. and Mairesse J. (2003), « How Do New Organizational Practices Shape Production Jobs ? Results from a Matched Employer-Employee Survey in French Manufacturing », *Working Paper*, Centre d'études de l'emploi, 28 : 1-45.
- Greenan N. and Mairesse J. (2004), « A Firm Level Investigation of the Complementarity between Information and Communication Technologies and New Organizational Practices », *Annual Conference of the Western Economics Association*, June 29, July 3, Vancouver, Canada.
- Gordon R.J. (2000), « Does the 'New Economy' Measure up to the Great Inventions of the Past ? », *Journal of Economic Perspectives*, XIV, 4 : 49-74.
- Grossman S. and Hart O. (1986), « The Costs and Benefits of Ownership : A Theory of Vertical and Lateral Integration », *Journal of Political Economy*, XCIV, 4 : 691-717.
- Grüner H.P. and Schulte E. (2004), « Speed and Quality of Collective Decision-Making, I : Imperfect Information Processing », *CEPR Working Paper*, DP4179 : 1-31.
- Hall B.H. (1987), « The Relationship between Firm Size and Firm Growth in the US Manufacturing Sector », *Journal of Industrial Economics*, XXXV, 4 : 583-606.
- Hart O. and Moore J. (1990), « Property Rights and the Nature of the Firm », *Journal of Political Economy*, XCVIII, 4 : 1119-1158.
- Holmstrom B. (1999), « The Firm as a Subeconomy », *Journal of Law, Economics and Organization*, XV, 1 : 74-102.
- Holmstrom B. and Milgrom P. (1991), « Multitask Principal-Agent Analyses : Incentive Contracts, Asset Ownership, and Job Design », *Journal of Law, Economics and Organization*, VII, Special Issue : 24-52.
- Holmstrom B. and Milgrom P. (1994), « The Firm as an Incentive System », *The American Economic Review*, LXXXIV, 4 : 972-991.
- Hubbard T.N. (2000), « The Demand for Monitoring Technologies : The Case of Trucking », *The Quarterly Journal of Economics*, CXV, 2 : 533-560.
- Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (1999), *La France des services*, Paris, INSEE Références.
- Itoh H. (1987), « Information processing capacities of the firm », *Journal of the Japanese and International Economies*, I, 3 : 299-326.
- Kennedy P.W. (1994), « Information processing and organization design », *Journal of Economic Behavior and Organization*, XXV, 1 : 37-51.

- Keren M. and Levhari D. (1979), « The Optimum Span of Control in a Pure Hierarchy », *Management Science*, XXV, 11 : 1162-1172.
- Keren M. and Levhari D. (1983), « The internal organization of the firm and the shape of average costs », *The Bell Journal of Economics*, XIV, 2 : 474-486.
- Keren M. and Levhari D. (1989), « Decentralization, agregation, control loss and costs in a hierarchical model of the firm », *Journal of Economic Behavior and Organization*, XI, 2 : 213-236.
- Lazear E. (1995), *Personnel Economics*, Cambridge, MIT Press.
- Lichtenberg F. (1995), « The Output Contributions of Computer Equipment and Personal : A Firm-level Analysis », *Economics of Innovation and New Technology*, III, 3-4 : 201-217.
- Loveman G.W. (1994), « An Assessment of the Productivity Impact on Information Technologies », in Allen T.J. and Scott Morton M.S. eds., *Information Technology and the Corporation of the 1990's : Research Studies*, Cambridge, MIT Press.
- Malone T.W. and Smith S.A. (1988), « Modeling the performance of organizational structures », *Operations Research*, XXXVI, 3 : 421-436.
- Malone T.W., Yates J. and Benjamin R.I. (1987), « Electronic Markets and Electronic Hierarchies », *Communications of the ACM*, XXX, 6 : 484-497.
- Marschak J. (1955), « Elements for a Theory of Teams », *Management Science*, I, 2 : 127-137.
- Marschak J. and Radner R. (1972), *Economic Theory of Teams*, New Haven, Yale University Press.
- McGuire C.B. (1961), « Some team models of a sales organization », *Management Science*, VII, 2 : 101-130.
- Meagher K. (2003), « Generalizing Incentives and Loss of Control in an Optimal Hierarchy : The Role of Information Technology », *Economics Letters*, LXXVIII, 2 : 273-280.
- Meagher K., Orbay H. and Van Zandt T. (2002), « Market Contingent Managerial Hierarchies », *Working Paper*, North Western University, 28 January 2002 : 1-29.
- Meagher K., Orbay H. and Van Zandt T. (2004), « Market Contingent Managerial Hierarchies », *Working Paper*, North Western University, 10 May 2004 : 1-17.
- Oliner S.D. and Sichel D.E. (1994), « Computers and Output Growth Revisited : How Big Is the Puzzle ? », *Brookings Papers on Economic Activity*, 2 : 273-317.

- Oliner S.D. and Sichel D.E. (2000), « The Resurgence of Growth in the Late 1990's : Is Information Technology the Story ? », *Journal of Economic Perspectives*, XIV, 4 : 3-22.
- Orbay H. (2002) « Information Processing Hierarchies », *Journal of Economic Theory*, CV, 2 : 370-407.
- Osterman P. (1986), « The Impact of Computers on the Employment of Clerks and Managers », *Industrial and Labor Relations Review*, XXXIX, 2 : 175-186.
- Qian Y. (1994), « Incentives and Loss of Control in an Optimal Hierarchy », *The Review of Economic Studies*, LXI, 3 : 527-544.
- Radner R. (1992), « Hierarchy : The Economics of Managing », *Journal of Economic Literature*, XXX, 3 : 1382-1415.
- Radner R. (1993), « The Organization of Decentralized Information Processing », *Econometrica*, LXI, 5 : 1109-1146.
- Van Zandt T. and Radner R. (2001), « Real-time decentralized information processing and returns to scale », *Economic Theory*, XVII, 3 : 545-575.
- Rallet A. (1995), « Information, organisation et performance des firmes : de la nécessité d'analyser le paradoxe de productivité », in Haudeville B., Héraud J.A. et Humbert M. dir., *Technologie et performances économiques*, Paris, Economica.
- Roach S.S. (1987a), « America's Technology Dilemma : A Profile of the Information Economy », *Morgan Stanley Special Economic Study*, April.
- Roach S.S. (1989a), « Pitfalls of the 'New' Assembly Line : Can Services Learn From Manufacturing ? », *Morgan Stanley Special Economic Study*, June 22.
- Roach S.S. (1989b), « America's White-collar Productivity Dilemma », *Manufacturing Engineering*, August : 104.
- Roach S.S. (1991), « Services Under Siege : The Restructuring Imperative », *Harvard Business Review*, September-October :82-91.
- Sah R.K. and Stiglitz J.E. (1985), « Human Fallibility and Economic Organization », *The American Economic Review*, LXXV, 2 : 292-297.
- Simon H.A. (1973), « Applying Information Technology to Organization Design », *Public Administration Review*, XXXIII, 3 : 268-278.
- Solow R.M. (1987), « We'd better watch out », *New York Times book review*, July 12, p. 36.
- Stiroh K.J. (1998), « Computers, Productivity and Input Substitution », *Economic Inquiry*, XXXVI, 2 : 175-191.

- Van Zandt T. (1998), « Organizations with an Endogenous Number of Information Processing Agents », in Majumdar M. ed., *Organizations with Incomplete Information : Essays in Economic Analysis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Van Zandt T. (2004), « Structure and Returns to Scale of Real-time Hierarchical Resource Allocation », *Working Paper CEPR*, March 2004, 4277 : 1-17.
- Wenger A.E. (1999), « Three Essays on the Influence of Information Technology on the Organization of Firms », *Ph. D. Massachusetts Institute of Technology*, February 1999.
- Williamson O.E. (1967), « Hierarchical Control and Optimum Firm Size », *Journal of Political Economy*, LXXV, 2 : 123-138.
- Williamson O.E. (1975), *Markets and Hierarchies : Analysis and Antitrust Implications (A Study in the Economics of Internal Organization)*, New York, The Free Press.
- Wilson R. (1975), « Informational economies of scale », *The Bell Journal of Economics*, VI, 1 : 184-195.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	5
 PREMIERE PARTIE : L'ANALYSE ECONOMIQUE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	 19
 CHAPITRE 1 : LA VARIETE DES CARACTERISTIQUES DE L'ORGANISATION OPTIMALE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	 20
 I) La décentralisation de l'information et des décisions dans la théorie des équipes.....	20
A- <u>La rationalité limitée des agents engendre des structures d'information et des formes organisationnelles variées</u>	21
1) <i>Les coûts d'observation et de communication peuvent engendrer des structures d'information caractérisées par une spécialisation de l'action des agents.....</i>	22
2) <i>Les coûts associés à la prise de décision peuvent engendrer des formes organisationnelles où les décideurs sont séparés des exécutants</i>	23
B- <u>La théorie des équipes montre comment le système d'information des entreprises contribue à la révision des plans de production</u>	27
1) <i>Une variété de structures d'information horizontales et verticales pour assurer l'ajustement à court terme du processus de production</i>	27
2) <i>La décomposition des objectifs de production dans une structure hiérarchique où les managers ont un temps et des capacités d'observation limitées.....</i>	30
 II) La décentralisation du traitement de l'information dans les modèles où l'agrégation des données constitue un préalable à la prise des décisions	 32
A- <u>La décentralisation optimale du traitement de l'information résulte de divers arbitrages entre coûts et gains associés à ce traitement</u>	33
1) <i>Le traitement d'une cohorte de données par un groupe d'agents implique un arbitrage entre le coût et le délai de traitement de l'information.....</i>	33
2) <i>Le traitement d'une séquence de cohortes par un réseau stationnaire implique un arbitrage entre les coûts de communication et les gains de spécialisation.....</i>	36

3) <i>Le traitement périodique d'échantillons de données permet d'estimer une variable aléatoire évoluant dans le temps et implique un arbitrage entre délai et précision</i>	39
B- <u>L'organisation optimale de l'agrégation des données présente des caractéristiques variées</u>	41
1) <i>Le réseau optimal pour agréger une cohorte de données est irrégulier.....</i>	41
2) <i>Le réseau stationnaire optimal pour agréger une séquence de cohortes est une hiérarchie régulière ou une chaîne de montage.....</i>	44
3) <i>Le réseau chargé du traitement périodique d'échantillons de données est caractérisé par sa taille optimale</i>	46
CONCLUSION DU CHAPITRE 1	50
CHAPITRE 2 : L'EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES DE L'ORGANISATION OPTIMALE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES	51
I) Les facteurs d'évolution de l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes	51
A- <u>L'incertitude de l'environnement des entreprises fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes</u>	52
1) <i>La volatilité de l'environnement favorise les structures d'information horizontales, mais elle fait diminuer le temps optimal d'apprentissage des ateliers.....</i>	52
2) <i>La variance des aléas fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers et fait augmenter le nombre optimal des managers responsables des ateliers.....</i>	54
B- <u>L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer l'organisation optimale des activités administratives dans la théorie des équipes</u>	56
1) <i>L'amélioration de la capacité de traitement favorise la coordination verticale et fait augmenter le temps optimal d'apprentissage des ateliers</i>	57
2) <i>L'amélioration de la capacité des managers à collecter de l'information fait augmenter puis diminuer le nombre optimal des responsables des ateliers.....</i>	59
II) Les facteurs d'évolution de la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information	60
A- <u>L'incertitude de l'environnement des entreprises fait évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information</u>	61

1) <i>La dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter la taille optimale des activités administratives quand les agents ne sont pas rémunérés</i>	62
2) <i>La dispersion des préférences des consommateurs fait augmenter puis diminuer la taille optimale des activités administratives quand les agents sont rémunérés</i>	63
3) <i>La volatilité des préférences des consommateurs fait diminuer la taille optimale des activités administratives</i>	64
B- <u>L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait évoluer la taille optimale des activités administratives dans les modèles d'agrégation de l'information</u>	67
1) <i>L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait augmenter ou laisse inchangée la taille optimale des activités administratives</i>	67
2) <i>L'amélioration de la capacité de traitement des agents fait diminuer la taille optimale des activités administratives</i>	69
3) <i>L'amélioration de la capacité de traitement des agents doit être suffisamment forte pour faire diminuer la taille optimale des activités administratives</i>	71
III) La théorie des équipes et les modèles d'agrégation de l'information offrent une analyse incomplète de l'informatisation des activités administratives	73
A- <u>Un point de vue particulier : l'informatisation et l'environnement comme facteurs de contingence faisant évoluer l'organisation optimale des activités administratives</u>	74
1) <i>Des prédictions contradictoires, voire ambiguës quant aux conséquences de l'informatisation sur l'organisation des activités administratives</i>	75
2) <i>Des aspects non abordés dans les relations entre informatisation, organisation, environnement et efficience des activités administratives</i>	76
B- <u>Les vérifications empiriques des prédictions offertes par les modèles sont peu nombreuses et n'envisagent pas tous les aspects de ces modèles</u>	78
1) <i>Des études empiriques décrivant l'effet de l'informatisation sur le nombre de niveaux hiérarchiques et sur la délégation des décisions</i>	78
2) <i>Un manque d'études empiriques relatives aux liens entre informatisation, environnement et taille des entreprises</i>	81
CONCLUSION DU CHAPITRE 2	83
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE	84

DEUXIEME PARTIE : L'ANALYSE ECONOMIQUE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES : NOUVEAUX ASPECTS.. 85

CHAPITRE 3 : ORGANISATION, ENVIRONNEMENT ET EFFICIENCE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES 86

I) La recherche des facteurs impliquant une différence dans le délai d'agrégation de l'information respectif des hiérarchies régulières et irrégulières	87
A- <u>Une nouvelle définition de l'efficacité : le délai minimal de traitement d'une certaine quantité d'information avec un même nombre d'agents</u>	87
B- <u>La différence de délai entre les hiérarchies régulières et irrégulières résulte des modalités d'affectation des données et de coordination de l'action des agents</u>	90
1) <i>La hiérarchie régulière n'est pas efficace en raison des problèmes d'affectation des données et de coordination de l'action des agents.....</i>	91
2) <i>La hiérarchie égalitaire est plus rapide que la hiérarchie régulière mais n'est pas efficace en raison des problèmes de coordination de l'action des agents.....</i>	93
II) La recherche des facteurs impliquant une différence dans le délai respectif de la chaîne de montage, des hiérarchies régulières et des hiérarchies irrégulières	96
A- <u>Dans les modèles existants, le délai n'est pas le critère essentiel pour mesurer les performances respectives de la hiérarchie et de la chaîne de montage</u>	96
1) <i>Le choix entre la hiérarchie avec spécialisation et la chaîne de montage repose sur la comparaison des gains de spécialisation et des coûts de communication.....</i>	97
2) <i>Le choix entre la hiérarchie et la chaîne de montage repose sur la minimisation du nombre d'opérations.....</i>	99
B- <u>Le nombre des agents et la quantité des données à traiter déterminent le délai de la chaîne de montage par rapport à celui des autres structures hiérarchiques</u>	101
1) <i>Le calcul du délai d'agrégation de N données dans une chaîne de montage comportant P agents</i>	102
2) <i>Le nombre de données à traiter influence l'efficacité de la chaîne de montage pour un petit nombre d'agents.....</i>	103
3) <i>L'augmentation du nombre des agents rend la chaîne de montage fortement inefficace quand la quantité des données à traiter est relativement faible.....</i>	105

III) Les déterminants du délai d'agrégation de l'information des hiérarchies équilibrées et fortement déséquilibrées.....	108
A- <u>L'effet de structure associé au traitement des rapports affecte le délai dans les hiérarchies équilibrées quand la quantité des données à traiter est relativement faible ...</u>	108
1) <i>Deux modalités différentes d'agencement des agents : la hiérarchie « large » et la hiérarchie « étroite »</i>	109
2) <i>Le calcul du délai des hiérarchies égalitaires « larges » et « étroites » fait apparaître un effet de structure associé à l'agrégation des rapports.....</i>	110
3) <i>Le calcul du délai des hiérarchies régulières « larges » et « étroites » montre que l'effet de structure disparaît avec l'augmentation du nombre de données.....</i>	111
B- <u>Les hiérarchies régulières ou égalitaires peuvent être fortement déséquilibrées et donc être fortement inefficientes</u>	113
1) <i>Les formules permettant le calcul du délai sont fausses lorsque les hiérarchies sont fortement déséquilibrées</i>	114
2) <i>Seule une répartition déséquilibrée des données permet de minimiser le délai d'agrégation dans les structures hiérarchiques fortement déséquilibrées.....</i>	115
CONCLUSION DU CHAPITRE 3	118
CHAPITRE 4 : INFORMATISATION, ORGANISATION, ENVIRONNEMENT ET EFFICIENCE DES ACTIVITES ADMINISTRATIVES.....	119
I) Les conséquences de l'informatisation sur l'efficacité des activités administratives en l'absence du changement organisationnel.....	119
A- <u>La réduction du délai est importante quand l'informatisation est appliquée à un agent qui traite seul un grand nombre de données</u>	120
1) <i>La réduction du délai est très importante dans la hiérarchie fortement déséquilibrée et est moins marquée dans la hiérarchie régulière « large ».....</i>	120
2) <i>La réduction du délai est faible dans la hiérarchie régulière « étroite » et elle l'est encore plus dans la structure irrégulière.....</i>	124
B- <u>L'informatisation de plusieurs agents fait apparaître une diminution du délai par paliers pouvant affecter la diffusion des technologies</u>	128
1) <i>L'informatisation de plusieurs agents fait diminuer le délai par paliers en raison de problèmes dans la coordination de l'action des agents.....</i>	128

2) <i>La réduction du délai s'interrompt plus rapidement dans la structure irrégulière, ce qui peut affecter la diffusion des TI.....</i>	131
II) Les conséquences de l'informatisation sur l'efficacité des activités administratives en présence du changement organisationnel	133
A- <u>L'apparition des différentes formes du changement organisationnel suppose que la capacité de traitement des agents dépasse un certain seuil</u>	134
1) <i>Au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut modifier la répartition des données sans réduire le délai</i>	134
2) <i>Au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut modifier les liens entre les agents et réduire le délai</i>	137
3) <i>Au-delà d'un certain seuil, l'augmentation de la capacité de traitement peut faire diminuer le nombre des agents et réduire le délai</i>	139
B- <u>L'ampleur de la diminution du nombre des agents dépend des seuils associés à la capacité de traitement, mais aussi des caractéristiques de l'organisation</u>	141
1) <i>Le doublement de la capacité de traitement d'un agent peut faire disparaître un autre agent, ce qui réduit le délai</i>	142
2) <i>La diminution du nombre des agents est plus forte dans la hiérarchie régulière quand leur capacité de traitement est égale au nombre de leurs subordonnés.....</i>	143
3) <i>L'informatisation de plusieurs agents peut engendrer une diminution de leur nombre via la modification des liens et la redistribution des données initiales</i>	147
III) L'environnement affecte l'efficacité des activités administratives, ce qui peut susciter l'informatisation et le changement organisationnel.....	149
A- <u>L'augmentation de la quantité des données à traiter peut susciter un changement organisationnel aux formes multiples qui est indépendant de l'informatisation</u>	150
1) <i>L'augmentation de la quantité des données à traiter peut impliquer la polyvalence des agents et la modification des liens entre les agents</i>	150
2) <i>L'augmentation de la quantité des données à traiter peut impliquer une augmentation du nombre des agents ou une décentralisation des décisions</i>	151
3) <i>Les différentes formes du changement organisationnel ne maintiennent plus le délai quand la quantité des données à traiter dépasse un certain seuil</i>	152
B- <u>L'augmentation de la quantité des données à traiter peut susciter l'informatisation, puis le recrutement de nouveaux agents pour maintenir le délai à son niveau initial</u>	155
1) <i>L'informatisation ne maintient plus le délai quand la quantité des données à traiter dépasse un seuil supérieur à celui associé au changement organisationnel.....</i>	155

2) <i>La conjonction du changement organisationnel et de l'informatisation permet de traiter un plus grand nombre de données.....</i>	157
CONCLUSION DU CHAPITRE 4	160
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	161
 TROISIEME PARTIE : INFORMATISATION ET TAILLE DES ENTREPRISES : ASPECTS EMPIRIQUES....	162
 CHAPITRE 5 : UNE RECENSION DES ETUDES EMPIRIQUES ASSOCIANT INFORMATISATION, FRONTIERES ET TAILLE DES FIRMES	163
 I) Les TI favorisent-elles le recours à des prestataires extérieurs ?.....	163
A- <u>L'étude de l'influence contradictoire des TI sur les frontières de la firme dans le cadre de la théorie des contrats incomplets</u>	164
1) <i>La prise en compte des actifs physiques et informationnels dans la théorie des contrats incomplets.....</i>	165
2) <i>La prise en compte de la répartition de l'effort des agents entre les tâches et de l'allocation optimale des actifs physiques dans la théorie des contrats incomplets</i>	167
B- <u>Une application empirique de la théorie des contrats incomplets : l'influence des TI sur les frontières des firmes dans le secteur du camionnage aux Etats-Unis</u>	169
1) <i>L'effet du taux d'adoption des enregistreurs et des systèmes de gestion électronique des véhicules sur le pourcentage de transport spécialisé.....</i>	170
2) <i>L'effet des technologies adoptées et du type de biens transportés sur le pourcentage de transport spécialisé.....</i>	171
 II) Les TI contribuent-elles à réduire la taille moyenne des firmes ?	173
A- <u>A la recherche du mécanisme pertinent pour expliquer la diminution de la taille moyenne des firmes dans six secteurs représentatifs de l'industrie et des services</u>	174
1) <i>Une modélisation retenant quatre définitions différentes de la taille moyenne des firmes.....</i>	175

2) <i>La diminution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie ne résulte pas du seul phénomène de substitution</i>	177
B- <u>La prise en compte de nouveaux mécanismes pour expliquer la diminution de la taille moyenne des firmes dans l'industrie et son augmentation dans les services</u>	181
1) <i>Une modélisation intégrant l'importance respective des actifs physiques, informationnels et humains dans l'industrie, le commerce et les services</i>	182
2) <i>Les TI contribuent indirectement à l'évolution de la taille moyenne des firmes dans chaque secteur en affectant les actifs physiques et humains</i>	185
 CONCLUSION DU CHAPITRE 5	191
 CHAPITRE 6 : INFORMATISATION, ENVIRONNEMENT ET EVOLUTION DE LA TAILLE DES ENTREPRISES COMPTABLES	192
 I) Une description des principales caractéristiques des entreprises comptables	193
A- <u>Les entreprises comptables relèvent d'une activité de main-d'œuvre où la composante administrative est particulièrement marquée</u>	194
B- <u>D'après les données de l'enquête C.O.I., les entreprises comptables sont fortement informatisées et elles le sont d'autant plus que leur taille est importante</u>	195
C- <u>Les caractéristiques de l'informatisation, de l'organisation et de l'environnement diffèrent suivant la taille des entreprises comptables</u>	197
 II) Les variables utilisées pour étudier les liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997	200
A- <u>Une première études des liens entre l'évolution de l'informatisation, de l'environnement et de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997</u>	201
1) <i>L'évolution de l'informatisation des entreprises comptables a-t-elle un lien avec l'évolution de leur taille entre 1994 et 1997 ?</i>	201
2) <i>L'évolution de l'environnement des entreprises comptables a-t-elle un lien avec l'évolution de leur informatisation et de leur taille entre 1994 et 1997 ?</i>	205
B- <u>D'autres variables peuvent être liées à l'évolution de la taille ou à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997</u>	206
1) <i>Les variables susceptibles d'être liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997</i>	207

2) <i>Les variables susceptibles d'être liées à l'évolution de l'informatisation des entreprises comptables entre 1994 et 1997</i>	209
III) L'évolution de l'informatisation et de l'environnement sont-elles liées à l'évolution de la taille des entreprises comptables entre 1994 et 1997 ?	211
A- <u>Une étude des liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille faisant abstraction de l'environnement des entreprises comptables</u>	211
1) <i>Les deux mesures de l'évolution de l'informatisation n'ont pas de lien avec l'évolution des effectifs des entreprises comptables entre 1994 et 1997</i>	212
2) <i>L'appartenance à un réseau d'entreprises favorise l'informatisation, mais celle-ci n'est pas une variable endogène</i>	214
B- <u>Une étude des liens entre l'évolution de l'informatisation et l'évolution de la taille tenant compte de l'environnement des entreprises comptables</u>	217
1) <i>L'évolution de l'informatisation n'a pas de lien avec l'évolution des effectifs entre 1994 et 1997 alors que l'incertitude sur les marchés favorise leur diminution</i>	218
2) <i>L'appartenance à un réseau d'entreprises et les fluctuations de la demande favorisent l'informatisation, mais celle-ci n'est pas une variable endogène</i>	220
CONCLUSION DU CHAPITRE 6	224
CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE	225
ANNEXE 1 : LE DISPOSITIF D'ENQUETE SUR LES CHANGEMENTS ORGANISATIONNELS ET L'INFORMATISATION	226
ANNEXE 2 : PRESENTATION DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES MENEES PAR CASES ET ROUQUETTE (2000)	227
ANNEXE 3 : PRESENTATION DE LA CLASSIFICATION MISE EN OEUVRE PAR CASES ET ROUQUETTE (2000)	228
ANNEXE 4 : PRESENTATION DES VARIABLES QUALITATIVES UTILISEES DANS LES ACM RELATIVES A L'INFORMATISATION DES ENTREPRISES COMPTABLES	229
ANNEXE 5 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES ET MATRICE DES CORRELATIONS DES VARIABLES QUANTITATIVES CONSIDEREES DANS LES REGRESSIONS	231

ANNEXE 6 : CONSTRUCTION ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES VARIABLES QUALITATIVES CONSIDEREES DANS LES REGRESSIONS	232
CONCLUSION GENERALE.....	233
INDEX DES TABLEAUX ET DES GRAPHIQUES	237
BIBLIOGRAPHIE.....	243